

30-0237/002

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU

DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE BRAUNSCHWEIG

DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA – PROF. DR.-ING. G. REHM



K
29

Untersuchungen zur Bestimmung der erforderlichen Minimum-
Plattendicken von Stahlbetonplatten in Abhängigkeit von der
Feuerwiderstandsdauer unter besonderer Berücksichtigung des
Betonfeuchtigkeitsgehaltes und der Temperaturmeßmethoden zum
Vergleich mit in- und ausländischen Versuchsergebnissen

Bericht erstattet von Dipl.-Ing. Lore K r a m p f

Juni 1969

Die Untersuchungen wurden im Auftrage des Bundesministers
für Wohnungswesen und Städtebau (Az. II A 9 - 810 802 - 38)
durchgeführt.

Inhaltsübersicht

Seite

1.	Allgemeines, Zweck der Untersuchungen	2
2.	Versuchsplanung und -vorbereitung	2
2.1	Versuchskörper	2
2.11	Konstruktion und Abmessungen	2
2.12	Meßquerschnitte	3
2.13	Baustoffe	3
2.14	Lagerung und Trocknung	4
3.	Versuchsaufbau und -durchführung	4
3.1	Brandraum und Beheizung	4
3.2	Einbau und Belastung der Versuchskörper	5
3.3	Messung während der Versuche	6
3.4	Sonstige Beobachtungen während der Versuche	
4.	Versuchsergebnisse	8
4.1	Versuchskörper 1 - 16	8
4.2	Versuchskörper 17- 19	10
5.	Auswertung der Versuchsergebnisse	11
5.1	Verfahren zur Messung der Temperatur auf der dem Feuer abgekehrten Plattenseite	11
5.2	Einfluß des Betonfeuchtigkeitsgehaltes	13
5.3	Abplatzverhalten	14
5.4	Vorschlag für die Einstufung von Stahlbeton- platten ohne Putz in die Feuerwiderstandsklas- sen nach DIN 4102	15
	Verzeichnis der Literatur	17
	Verzeichnis der Anlagen	18

1. Allgemeines; Zweck der Untersuchungen

Ziel der im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig im Auftrage des Bundesministeriums für Wohnungswesen und Städtebau durchgeführten Untersuchungen ist es, zu ermitteln, wie groß die Mindestdicke von ungeschützten Stahlbetonplatten sein muß, um die in in- und ausländischen Normen geforderte Einhaltung der maximalen Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgekehrten Oberfläche von 140 grd zu gewährleisten.

Es wurde eine Versuchsreihe an Stahlbetonplatten aufgebaut, bei denen die Parameter Plattendicke und Betonfeuchtigkeitsgehalt variiert wurden. 16 Platten wurden unter Eigengewicht untersucht und 3 weitere durch zusätzliche Nutzlast beansprucht. Außerdem wurden drei Verfahren zur Messung der Oberflächtemperaturen untersucht und untereinander verglichen.

2. Versuchsplanung und -vorbereitung

2.1 Versuchskörper

2.11 Konstruktion und Abmessungen

Die Größe der Prüfkörper wurde den Abmessungen des verfügbaren Brandhauses angepaßt. Die Maße der Stahlbetonplatten betrugen

$$\begin{aligned} l &= 1,40 \text{ m} \\ b &= 0,50 \text{ m.} \end{aligned}$$

Als konstruktive Bewehrung wurden geschweißte Baustahlmatten R 92 mit einer Betonüberdeckung von $\bar{u} = 1,0 \text{ cm}$ eingelegt. Eine Öffnung zur Durchführung eines NiCr-Ni-Thermoelementes wurde ausgespart.

Die Dicke der Platten wurde variiert und zwar in folgender Staffelung:

$$\begin{aligned} d &= 5 \text{ cm} \\ " &= 6 \text{ cm} \\ " &= 8 \text{ cm} \\ " &= 10 \text{ cm} \\ " &= 12 \text{ cm} \\ " &= 16 \text{ cm} \end{aligned}$$

2.12 Meßquerschnitte

- Zur Messung der Temperaturen in den Stahlbetonquerschnitten wurden Fe-Const-Thermoelemente einbetoniert.

2.13 Baustoffe

Der Beton für die Versuchskörper wurde mit Betonkiessand der Grube Riemenschneider, Braunschweig, hergestellt. Die Zusammensetzung dieses Zuschlagstoffes ist im wesentlichen quarzitisch, so daß der Beton in seinem Verhalten einem Quarzbeton gleichgesetzt werden kann.

Als Zement wurde ein PZ 275 der Alemannia, Höver, verwendet.

Die konstruktive Bewehrung erfolgte mit geschweißten Baustahlmatten St. IV b.

Nachstehend ist der Mischungsaufbau der untersuchten Betone angegeben:

1. Platten d = 5, 6 und 8 cm

Betonsand	0 - 3	760 kg/m ³
"	3 - 7	570 kg/m ³
Betonkies	7 - 15	570 kg/m ³
Betonkiessand	0 - 15	1900 kg/m ³
Zement PZ 275		270 kg/m ³
Wasser		175 kg/m ³

Das planmäßige Wasserzementverhältnis w/z betrug 0,65. Zur Erzielung einer gleichbleibenden Betongüte wurde beim Betonieren das Ausbreitmaß konstant gehalten.

Bei der Güteprüfung nach DIN 1048 ergab sich aus den Würfeldruckfestigkeiten eine Betongüte von B 225.

Die mittlere Betonrohddichte betrug 2,31 kg/dm³.

2. Platten d = 10, 12 und 16 cm

Betonsand	0 - 3	665 kg/m ³
"	3 - 7	285 kg/m ³
Betonkies	7 - 15	475 kg/m ³
"	15 - 30	475 kg/m ³
Betonkiessand	0 - 30	1900 kg/m ³
Zement PZ 275		270 kg/m ³
Wasser		175 kg/m ³

Das planmäßige Wasserzementverhältnis w/z betrug 0,65. Zur Erzielung einer gleichbleibenden Betongüte wurde beim Betonieren das Ausbreitmaß konstant gehalten.

Bei der Güteprüfung nach DIN 1048 ergab sich aus den Würfel-druckfestigkeiten eine Betongüte von B 300.

Die mittlere Betonrohddichte betrug 2,39 kg/dm³.

2.14 Lagerung und Trocknung

Die Prüfkörper wurden in einer geschlossenen Halle gelagert, die annähernd das Normklima 20/65 aufwies.

Die angegebenen Feuchtigkeitsgehalte in Gew.-% wurden durch Trocknung von Betonproben, die für den untersuchten Querschnitt repräsentativ waren, bei 105° C bis zur Gewichtskonstanz ermittelt.

3. Versuchsaufbau und -durchführung

3.1 Brandraum und Beheizung (hierzu Anlage 1)

Die Versuchskörper wurden als obere Abdeckung einer Brandkammer mit den lichten Abmessungen:

L	=	1,55 m
B	=	1,05 m
H	=	1,50 m

untersucht. Die innere Ausmauerung des Brandraumbodens bestand

aus Hartschamotte, die der Wände aus Gasbeton. Die neben dem Prüfkörper freien Flächen wurden mit Gasbetonplatten abgedeckt. In der rückwärtigen Brandraumwand befanden sich zwei Abzüge.

Die Beheizung nach der Einheitstemperaturkurve gemäß DIN 4102 erfolgte durch zwei Ölbrenner unter Verwendung von Heizöl EL nach DIN 51 603. Die Flammenachsen verliefen horizontal, etwa 0,75 m unter der Prüfkörperunterseite; die Flammenlänge betrug 0,8 bis 1,0 m.

3.2 Einbau und Belastung der Versuchskörper

Die Stahlbetonplatten wurden im Mörtelbett auf die Brandhauswände gelegt.

Die Versuchskörper 1 bis 16 wurden unbelastet geprüft.

Für die Versuchskörper 17 bis 19 wurde die nach DIN 1045 zulässige Nutzlast aufgebracht.

Ermittlung der zulässigen Nutzlast p

$$\begin{aligned} \text{zul } M_{\sigma_b} &= h^2 / K_n^*{}^2 = h^2 / 9,6^2 \\ & \quad (B 225 \rightarrow \text{zul } \sigma_b = 80 \text{ kp/cm}^2 \rightarrow K_n^* = 9,6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zul } M_{\sigma_e} &= f_e \cdot h / K_e = 0,92 h / 0,40 \\ & \quad (\text{St IV b} \rightarrow \text{zul } \sigma_e = 2800 \text{ kp/cm}^2 \rightarrow K_e \leq 0,40) \end{aligned}$$

$$M = q l^2 / 8 = q \cdot 1,30^2 / 8 = 0,211 q$$

$$\begin{aligned} \text{zul } q_{\sigma_b} &= h^2 / 9,6^2 \cdot 0,211 \quad (\text{Mp/m}^2) \\ &= 0,0515 h^2 \quad (h \text{ in cm}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zul } q_{\sigma_e} &= 0,92 h / 0,40 \cdot 0,211 \quad (\text{Mp/m}^2) \\ &= 10,9 h \quad (h \text{ in m}) \end{aligned}$$

Versuchsplatte 17: d/h = 6/3,5

$$\text{zul } q_{\text{ob}} = 0,63 \quad \text{Mp/m}^2$$

$$\text{zul } q_{\text{oe}} = 0,38 \quad "$$

$$g = 0,13 \quad "$$

$$\text{zul } p = 0,25 \quad "$$

$$\sigma_b / \sigma_e = 60/2800 \text{ (kp/cm}^2\text{)}$$

Versuchsplatte 18: d/h = 6/4,5

$$\text{zul } q_{\text{ob}} = 1,04 \quad \text{Mp/m}^2$$

$$\text{zul } q_{\text{oe}} = 0,49 \quad "$$

$$g = 0,20 \quad "$$

$$\text{zul } p = 0,34 \quad "$$

$$\sigma_b / \sigma_e = 55/2800 \text{ (kp/cm}^2\text{)}$$

Versuchsplatte 19: d/h = 8/6,5

$$\text{zul } q_{\text{ob}} = 2,18 \quad \text{Mp/m}^2$$

$$\text{zul } q_{\text{oe}} = 0,71 \quad "$$

$$g = 0,20 \quad "$$

$$\text{zul } p = 0,51 \quad "$$

$$\sigma_b / \sigma_e = 45/2800 \text{ (kp/cm}^2\text{)}$$

Die zulässigen Nutzlasten wurden durch tote Last (Stahlplatten) aufgebracht.

3.3 Messungen während der Versuche (hierzu Anlagen 1 u. 2)

Die Messung der Brandraumtemperatur erfolgte 10 cm unterhalb der Versuchsplatten mittels dreier NiCr-Ni-Thermoelemente, von denen eines von oben durch die Platte, die beiden anderen seitlich durch

die Brandhauswände in den Brandraum geführt wurden.

Durch Fe-const.-Thermoelemente, die in die Versuchskörper eingebetoniert waren, wurden die Temperaturen im Betonquerschnitt gemessen.

Lage der Meßstellen (gemessen von der beflamnten Plattenunterseite)

Platte d = 5 cm	:	U	=	0,2;	1;	3 cm
" " = 6 cm	:	"	=	0,2;	1;	2; 4 cm
" " = 8 cm	:	"	=	0,2;	1;	3; 5 cm
" " = 10 cm	:	"	=	0,2;	1;	3; 5; 7,5 cm
" " = 12 cm	:	"	=	0,2;	1;	3; 6; 9 cm
" " = 16 cm	:	"	=	0,2;	1;	3; 5; 8; 12 cm

Außerdem wurden die Temperaturen auf der dem Feuer abgekehrten Oberfläche der Platten gemessen. Dabei wurden drei verschiedene Verfahren angewandt, die in Anlage 2 dargestellt sind.

1. Messung unter 5 mm Asbest-Abdeckung

Die Enden einer glasseideisolierten 2 mal 0,5 mm dicken Fe-const-Thermodoppelleitung wurden durch Schweißung im Lichtbogenschweißverfahren unter Wasserstoffatmosphäre verbunden. Die Schweißperle wurde durch Hartlötung mit Messinglot L-Ms 63 an ein Kupferplättchen $d = 0,5 \text{ mm}$, Fläche $10 \times 20 = 200 \text{ mm}^2$, geheftet. Die dadurch entstandene Meßstelle wurde auf die Betonoberfläche gelegt und mit einer Asbestplatte, $d = 5 \text{ mm}$, Fläche $50 \times 50 = 2500 \text{ mm}^2$, abgedeckt. Eine Klebung war nicht möglich, da die Asbestplatte nicht flexibel genug war, um sich an die Wölbung der angelöteten Schweißperle anzuschmiegen. Daher wurde die abgedeckte Meßstelle beschwert mit einer Stahlplatte, $d = 10 \text{ mm}$, Fläche $\pi \cdot 90^2/4 = 6380 \text{ mm}^2$, Gewicht $G = 500 \text{ g}$.

2. Messung unter 0,2 mm Asbest-Abdeckung (entspr. JSO/DIN 4102)

Die unter 1 beschriebene Meßstelle wurde zusammen mit einer Abdeckung aus 0,2 mm dickem Asbestpapier, Fläche $50 \times 50 = 2500 \text{ mm}^2$, mit Wasserglas auf die Betonoberfläche geklebt.

3. Messung ohne Abdeckung

Die unter 1 beschriebene Meßstelle wurde auf die Betonoberfläche gelegt und mit der Federkraft der Thermoleitung, die etwas aufgebogen wurde, angedrückt. Etwa 30 mm von der Meßstelle entfernt wurde die Thermoleitung durch eine Stahlplatte, wie unter 1 beschrieben, beschwert.

Der Temperatur-Zeit-Verlauf im Brandraum, im Prüfquerschnitt und auf Oberfläche wurde durch Kompensographen registriert.

Bei den Versuchskörpern 17 bis 19 wurde darüber hinaus durch ein Rollen-gerät die Durchbiegung in Feldmitte gemessen.

3.4 Sonstige Beobachtungen während der Versuche

Das Verhalten der Stahlbetonplatten wurde während der Versuche dauernd kontrolliert, insbesondere wurden Feuchtigkeitsaustritt und Abplatzungen beobachtet.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Versuchskörper 1 - 16 (hierzu Anlagen 3.01 - 3.16)

Der Temperatur-Zeit-Verlauf im Brandraum entsprach der Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102. Die Abweichungen von der Sollkurve betrugen von der zehnten Versuchsminute an in keinem Falle mehr als $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Daher wurde auf eine Darstellung verzichtet.

Bei allen Platten wurde Feuchtigkeitsaustritt an der Oberseite beobachtet, der je nach Feuchtigkeitsgehalt des Betons intensiver oder geringer war.

In einigen Fällen traten geringfügige, örtlich begrenzte Abplatzungen auf, die auf plötzliche Volumenvergrößerung von Feuersteinsplittern zurückzuführen sind, die in dem verwendeten Zuschlagstoff in Anteilen $< 3\%$ vorhanden waren. Diese Abplatzungen traten in der 14. bis 16. Versuchsminute auf, also bei Temperaturen von etwa 300°C , gemessen in 1 cm Querschnittstiefe.

In den Anlagen 3.01 - 3.16 ist der Anstieg der Oberflächentemperaturen, gemessen nach den Verfahren 1 bis 3 (s. 3.3) dargestellt. Die wesentlichen Versuchsergebnisse sind in Tafel 1 zusammengestellt.

T a f e l 1

Nr. d. Prüf-körpers	Platten-dicke d (cm)	Feuchte (Gew.-%)	t ₁ (min)	T ₁ Meßstelle			Abweichung a _T Meßstelle			t ₂ Meßstelle			Abweichung a _t Meßstelle			Besondere Beobachtungen
				1 (grd)	2 (grd)	3 (grd)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	1 (min)	2 (min)	3 (min)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	
1	5	2,25	29	93	140	117	33	0	16	40	29	32	38	0	10	Abplatzung ca. 5 cm Ø, 0,5 cm tief; 16'
2	6	2,75	39	109	140	123	22	0	12	48	39	42	23	0	8	Meßstelle 3 leicht abgehoben; 27'
3	8	3,00	65	106	140	130	24	0	7	78	65	68	20	0	5	Wasserglas unter Meßstelle 2 schäumt; 18'
4	10	3,25	94	94	140	118	33	0	16	113	94	107	20	0	14	" " ; 28' Meßst. 3 leicht abgehoben; 38'
5	12	3,75	140	140	132	130	-	-	-	140	147	149	-	-	-	Abplatzung wie Platte 1; 15'
6	16	4,50	227	140	-	136	-	-	-	227	-	230	-	-	-	" " " " ; 15' Meßst. 2 abgelöst; 44'
7	5	1,25	28	90	140	140	35	0	0	38	28	28	36	0	0	-
8	6	1,50	37	100	125	140	-	-	-	-	40	37	-	-	-	Meßst. 2 leicht abgehoben; 26'
9	8	2,00	65	131	140	136	6	0	3	68	65	66	5	0	2	-
10	10	2,25	95	127	140	136	9	0	3	100	95	97	5	0	2	-
11	12	3,00	139	134	140	140	4	0	0	142	139	139	2	0	0	-
12	16	3,25	231	138	140	136	1	0	3	234	231	237	1	0	3	Meßst. 3 leicht abgehoben; 60'
13	5	2,00	27	130	140	120	7	0	14	27	27	28	0	0	4	-
14	8	3,50	62	122	140	129	13	0	8	-	62	-	-	-	-	Meßst. 3 abgehoben; 12'
15	5	3,25	26	102	140	140	27	0	0	-	26	26	-	0	0	-
16	8	3,00	63	135	140	132	4	0	6	-	63	-	-	-	-	Abplatzung wie Platte 1; 14' Wasserglas unter Meßstelle 2 schäumt; 25'
17	5	2,00	30	132	140	140	6	0	0	31	30	30	3	0	0	-
18	6	2,75	39	115	140	132	18	0	6	-	39	40	-	0	2	Wasserglas unter Meßstelle 2 schäumt; 20'
19	8	3,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Meßst. 3 leicht abgehoben; 20' Meßst. 2 abgehoben; 30'

t₁ = Zeitpunkt, zu dem die erste der Oberflächenmeßstellen die Temperatur 140 grd anzeigte
t₂ = " " " " Meßstelle 1, 2 bzw. 3 " " " " "
T₁ = Temperaturanzeige der Meßstelle 1, 2 bzw. 3 zum Zeitpunkt t₁
a_T = Abweichung der Temperaturmessungen zum Zeitpunkt t₁
a_t = " " Zeiten t₂
1 = Oberflächenmeßstelle unter 5 mm Asbestabdeckung
2 = " " 0,2 mm "
3 = " " ohne Abdeckung

4.2 Versuchskörper 17 - 19 (hierzu Anlagen 3.17 - 3.19, 4.01 - 4.03)

Es gilt das unter 4.1 Gesagte.

Aus den Messungen der Durchbiegung in Feldmitte der Platten wurde die nach DIN 4102 zulässige Durchbiegungsgeschwindigkeit $\Delta f / \Delta t$ errechnet. Diese wurde bei den Platten 17 und 18 nach Überschreitung der zulässigen Temperaturerhöhung auf der Plattenoberseite erreicht, bei der Platte 19 bereits vorher.

Der Verlauf der Durchbiegung ist in den Anlagen 4.01 - 4.03 dargestellt.

Tafel 2 zeigt die Ergebnisse.

T a f e l 2

Platte Nr.	d (cm)	Feuchte (Gew.-%)	t ₁ (min)	t ₂ (min)
17	5	2,00	30	43
18	6	2,75	39	44
19	8	3,50	-	50

t₁ = Zeitpunkt, zu dem auf der Plattenoberseite die Temperaturerhöhung 140 grd erreicht wurde

t₂ = Zeitpunkt, zu dem auf der Plattenoberseite die Durchbiegungsgeschwindigkeit $\Delta f / \Delta t = l^2 / 9000 h$ erreicht wurde

In den Anlagen 3.17 - 3.19 ist der Anstieg der Oberflächentemperaturen, gemessen nach den Verfahren 1 bis 3 (s. 3.3) dargestellt.

Die übrigen wesentlichen Versuchsergebnisse sind in Tafel 1 zusammengestellt.

5. Auswertung der Versuchsergebnisse

5.1 Verfahren zur Messung der Temperatur auf der dem Feuer abgekehrten Plattenseite

Die Temperaturen auf der Plattenoberseite der untersuchten Stahlbetonprüfkörper wurden nach drei Verfahren gemessen, die unter 3.3 erläutert sind. Zum Vergleich dieser Meßmethoden wird zunächst die Messung nach 2 als wahre Oberflächentemperatur angenommen.

Das Verfahren 1 zeigt dazu relativ große Abweichungen, die an der für die Beurteilung der Feuerwiderstandszeit nach DIN 4102 maßgebenden 140 grd - Grenze bei dünnen Platten ($d = 5 \text{ cm}$) bis zu -35°C betragen. Bei dickeren Platten sind die festgestellten Abweichungen nicht mehr so groß. Eine Betrachtung der in den Anlagen 3.01-3.19 aufgetragenen Schreiberdiagrammen zeigt die Tendenz, daß die Kurve 1 zunächst langsamer ansteigt, bei längerer Versuchsdauer jedoch näher an die Kurve 2 heranläuft und sie sogar überholt. Das Überholen, d. h. die Anzeige höherer Temperaturen als Messung nach 2, wurde aber erst in Bereichen, die für die Praxis nicht mehr interessant sind, beobachtet. Die Gründe für dieses Verhalten sind darin zu suchen, daß bei der Meßstelle 1 zunächst Energie verbraucht wird, um die große Masse der Abdeckung und besonders der Beschwerung (Stahlplatte) zu erwärmen - Verringerung der Erwärmungsgeschwindigkeit - und daß sich später unter dem Aufbau ein Wärmeanstau gebildet hat - Vergrößerung der Erwärmungsgeschwindigkeit.

Auch die Temperaturanzeige nach dem Verfahren 3 weist gegenüber der Messung nach 2 Differenzen auf. Die Abweichungen sind jedoch wesentlich kleiner als die des Verfahrens 1 und betragen im Bereich der 140 grd-Grenze bis zu -16% . Trotz sorgfältigen Arbeitens war es nicht immer möglich, die Meßstelle durch die Federkraft der Thermopelleitung dicht an die Betonoberfläche anzudrücken. Vielmehr verblieb in den meisten Fällen eine unkontrollierbar dicke Luftschicht zwischen Beton und Meßfühler.

Diese Luftschicht erhöht den Wärmewiderstand zwischen Oberfläche des Versuchskörpers und Thermoelement und erklärt die Abweichungen von der Temperaturmessung nach dem Verfahren 2.

Betrachtung des Verfahrens 2

Bei der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin, sind Versuche angestellt worden über die Zuverlässigkeit von Verfahren zur Messung der Temperaturen auf der dem Feuer abgekehrten Oberfläche von Prüfkörpern (2). Als Prüfkörpermaterial wurde Stahl und Itoternit verwendet. Beide Materialien besitzen fast absolut ebene Oberflächen, die die Eichung eines Meßverfahrens gestatten.

Die Beschaffenheit der im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig untersuchten Betonoberflächen war demgegenüber rauh. Schon aus diesem Grunde müssen hier die Toleranzgrenzen für eine Messung weiter gezogen werden, da die Einstellung des Wärmewiderstandes zwischen Prüfstückoberfläche und Meßfühler, also die Schichtdicke des Klebers nicht kontrollierbar ist.

Beeinträchtigt wurden die Temperaturmessungen nach dem Verfahren 2 in einigen Fällen durch Ablösen der Meßstelle von der Betonoberfläche, bedingt durch das Verhalten des Klebers. Das Wasserglas schäumte gelegentlich bei Erreichen des Siedepunktes auf oder löste sich bei Wasserpfützenbildung auf besonders feuchten Platten.

Mit völligem Ausfallen einer Meßstelle nach dem Verfahren 2 muß bei jedem Versuch gerechnet werden.

Die Forderung der BAM in (2) nach besserem, schnell aushärtendem, nicht aufschäumendem Kleber, der geringere Schichtdicken erlaubt, wird unterstrichen.

Die Messung der Oberflächentemperaturen auf Beton nach dem Verfahren 2 kann mit den genannten Einschränkungen als ausreichend genau angesehen werden.

Die Verfahren 1 und 3 sind aus den oben angeführten Gründen abzulehnen.

5.2 Einfluß des Betonfeuchtigkeitsgehaltes

Hervorgerufen durch den Energieverbrauch bei der Verdampfung des in den Kapillar- oder Gelporen befindlichen freien oder scheinbar gebundenen Wassers wird bei Brandversuchen an Betonbauteilen festgestellt, daß in den Temperaturbereichen um den Siedepunkt des Wassers eine Verzögerung der Erwärmungsgeschwindigkeit im Querschnitt auftritt.

Bei Lagerung der Probekörper in normaler Raumtemperatur und normaler relativer Luftfeuchte ist zum Zeitpunkt der Prüfung im allgemeinen die Austrocknung in den Randzonen der Querschnitte weiter fortgeschritten als im Inneren. Während des Versuchs findet ein Wasser- und Wasserdampfaustausch zwischen Rand- und Innenzonen statt. Es wird aber beobachtet, daß die Verlangsamung der Erwärmung im Innern stärker ist, als sie an den Rändern gemessen wird. Jedoch ist bei den vorliegenden Versuchen die Ausbildung eines "Siedehaltepunktes" auch bei den Temperaturmessungen auf der dem Feuer abgekehrten Plattenoberseite erkennbar, naturgemäß ausgeprägter bei den Platten mit höherem Betonfeuchtigkeitsgehalt als bei den stärker ausgetrockneten.

Es wurden hier Stahlbetonplatten mit über den Querschnitt gemittelten Betonfeuchtigkeitsgehalten von 1,25 (Minimum bei $d = 5$ cm) bis 4,50 Gew.-% (Maximum bei $d = 16$ cm) untersucht. Diese Austrocknungsgrade dürften die Werte, die in praktischen Fällen bei Bauteilen anzutreffen sind, erfassen.

In der Reihe der Versuchskörper wurde bei den feuchteren Betonen ein deutlich längeres Verweilen der Oberflächentemperatur in der Nähe des Siedepunktes beobachtet. Der Temperaturanstieg bis zu diesem Bereich war erklärbar durch die bessere Wärmeleitfähigkeit eines feuchten Betons gegenüber einem trockenen - steiler. Nach Überwindung des Haltepunktes stieg die Oberflächentemperatur wieder stärker an. In der Größenordnung der Temperaturerhöhung von 140 grd gegenüber der Ausgangstemperatur waren keine wesentlichen Differenzen in der Beflammungsdauer meßbar.

Die in Tafel 1 ersichtlichen Unterschiede sind vielmehr als Meßtoleranzen, deren Ursachen in 5.1 dargestellt sind, zu werten.

Amerikanische Versuche, über die in (3) berichtet wird, haben ergeben, daß die Grenze von 250° F Temperaturerhöhung entsprechend 140 grd bei feuchtem Beton wesentlich später erreicht wird als bei trockenem. Diese Ergebnisse können hier nicht bestätigt werden. Einschränkend ist hierzu zu bemerken, daß ein direkter Vergleich der amerikanischen Versuche und der im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig durchgeführten nicht angestellt werden kann:

Die Verschiedenheit der Betonzusammensetzung kann nicht bestimmt werden, und im Zusammenhang damit ist die Relation zwischen der bei den Amerikanern nach dem Monfore-Verfahren gemessenen relativen Luftfeuchtigkeit in einem im Innern des Prüfstückes befindlichen Röhrchen und der in Deutschland bei 105°C-Trocknung ermittelten Betonfeuchte nicht herzustellen.

In den untersuchten Grenzen von 1,25 bis 4,50 Gew.-% konnte eine wesentliche Beeinflussung der Feuerwiderstandszeiten durch den Feuchtigkeitsgehalt des Betons nicht festgestellt werden.

5.3 Abplatzverhalten

Abplatzungen, die explosionsartig erhebliche Teile des Betons absprenge und dadurch den wirksamen Querschnitt verkleinern, den Bewehrungsstahl freilegen und dem direkten Wärmeeinfluß aussetzen, vermindern das Tragvermögen und damit die Feuerwiderstandsfähigkeit eines Stahlbetonbauteils empfindlich. Hervorgerufen werden solche Abplatzungen durch das Zusammentreffen mehrerer ungünstiger Einflüsse wie: Eigenspannungen infolge ungleichmäßiger Erwärmung des Betonquerschnitts, ggf. überlagert mit Lastspannungen, ungeeignete Bewehrungsführung, höherer Feuchtigkeitsgehalt des Betons usw.

In der vorliegenden Versuchsreihe, die mit Stahlbetonplatten, die i. a. nur durch Eigengewicht auf Biegung beansprucht waren, durch-

geführt wurde, wurden an den Probekörpern

1;	d	=	5 cm
5;	"	=	12 cm
6;	"	=	16 cm
16;	"	=	8 cm

Abplatzungen beobachtet. Diese dehnten sich aber in keinem Falle auf mehr als etwa 20 cm² aus und waren weniger als 1 cm tief. Die Ursache dieser Erscheinung ist im mineralogischen Charakter von Feuersteinanteilen, die in geringer Menge im Zuschlagstoff vorhanden waren, zu suchen (s. 4.1)

Plötzliche Volumenvergrößerung führte zum Heraussprengen des betreffenden Zuschlagstoffkorns, wobei der unmittelbar umgebende Beton mitgerissen wurde.

Bei keiner der untersuchten Stahlbetonplatten traten Abplatzungen auf, die die Tragfähigkeit und damit die Feuerwiderstandsfähigkeit der Konstruktion hätten vermindern können.

5.4 Vorschlag für die Einstufung von Stahlbetonplatten ohne Putz in die Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102 (Hierzu Anlage 5)

Aufgrund der vorliegenden Versuchsergebnisse wird vorgeschlagen, in DIN 4102, Blatt 4, zukünftige Fassung, für Stahlbetonplatten nach DIN 1045, ohne Putz, sowie für Stahlbetonrippendecken nach DIN 1045, ohne Füllkörper und ohne Putz, die in Tafel 3 zusammengestellten Mindestplattendicken aufzunehmen, wenn allein die Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgekehrten Plattenseite maßgebend ist.

T a f e l 3
(s. Blatt 16)

T a f e l 3

	Feuerwiderstandsklasse					
-	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Plattendicke D (cm)	6	8	10	12	14	17

Die in den einzelnen Versuchen erreichten Feuerwiderstandszeiten, die zu den Angaben in Tafel 3 führten, sind in Anlage 5 aufgetragen.

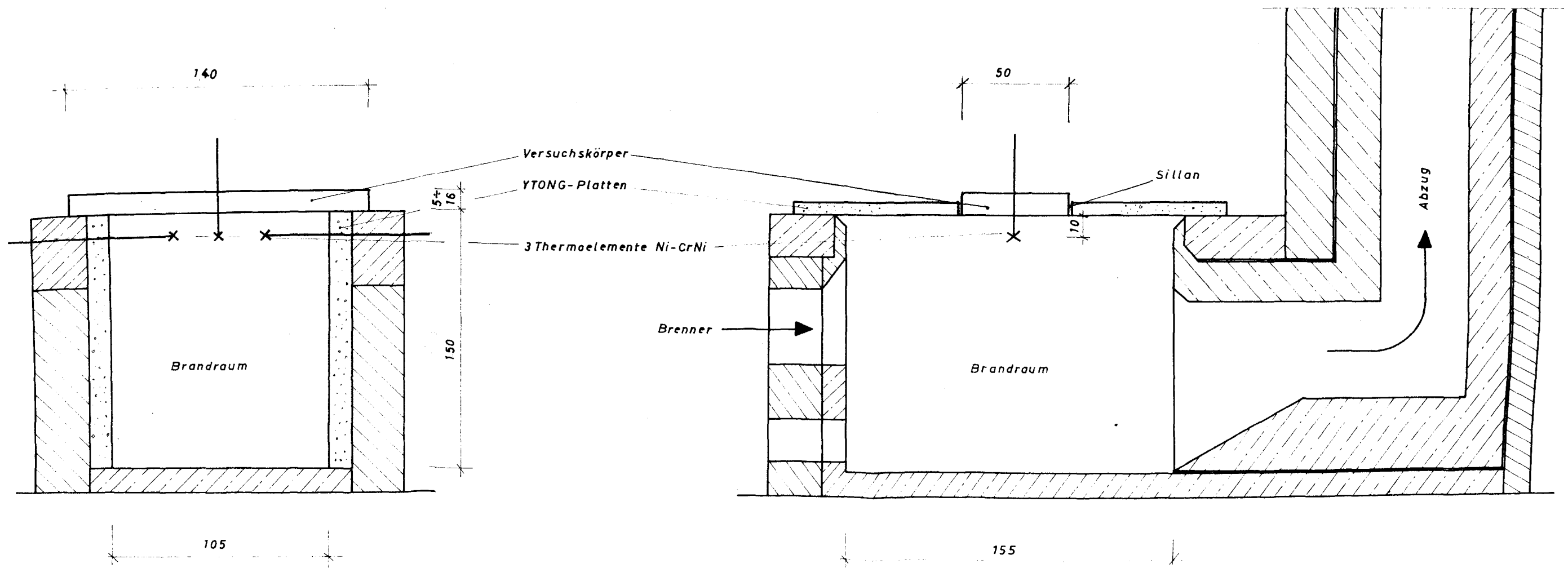
Die Zulassung von 8 cm dicken Deckenspiegeln für unverputzte Rippendecken (ohne Füllkörper), wie sie in der derzeit gültigen Fassung (Sept. 1965) der DIN 4102, Bl. 4, 5.2.6, für feuerbeständige Bauteile (F 90) verankert ist, erscheint nur bei Mitwirkung einer Estrichschicht vertretbar, da die ungeschützten Versuchsplatten bereits nach 65 - 65 - 62 - 63; i. M. 64 min die zulässige Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgekehrten Plattenoberseite erreichten.

Verzeichnis der Literatur

- (1) Underwriter's Laboratories, Inc, Standards for Safety;
Fire Tests Of Building Konstruktion And Materials,
Chicago, Ill, Mai 1959
- (2) Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Temperaturmessung
an der nichtbeflammten Oberfläche eines Bauteils - Über-
prüfung des ABM-Meßverfahrens, Berlin, März 1968 (nicht
veröffentlicht)
- (3) Portland Cement Association, Bulletin 181, Concrete Drying
Methods and Their Effect on Fire Resistance, Schie, Ill, 1965

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1	Versuchsanordnung
Anlage 2	Meßverfahren für Oberflächen- temperatur
Anlage 3.01	Temperatur auf der Platten-
-	oberseite, Prüfkörper 1 - 19
3.19	
Anlage 4.01	Durchbiegung f in Feldmitte, Versuchskörper 17
Anlage 4.02	Durchbiegung f in Feldmitte, Versuchskörper 18
Anlage 4.03	Durchbiegung f in Feldmitte, Versuchskörper 19
Anlage 5	Feuerwiderstandszeit der unter- suchten Platten



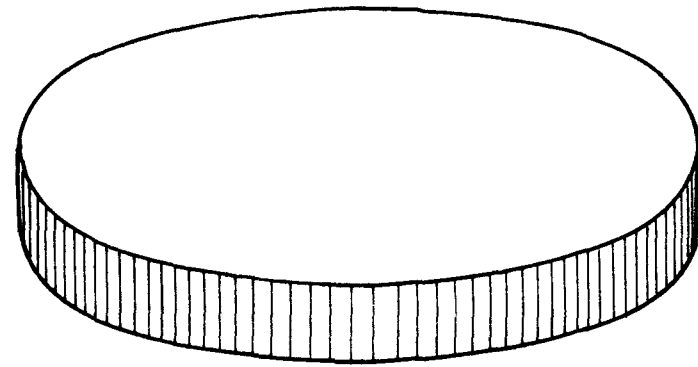
Brandraumquerschnitt

Brandraumlängsschnitt

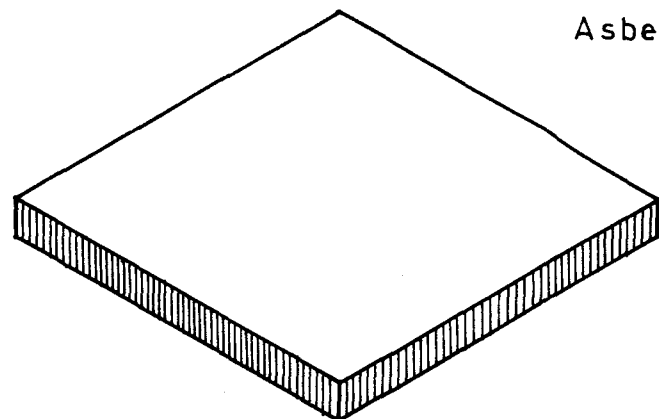
Versuchsanordnung	
Bestimmung der erforderlichen Minimum - Plattendicke	Anlage 1
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Hochschule Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	

1. Messung unter 5mm
Asbestabdeckung

Stahlplatte \varnothing 90 mm
d = 10 mm



Asbestplatte 50x50 mm
d = 5 mm

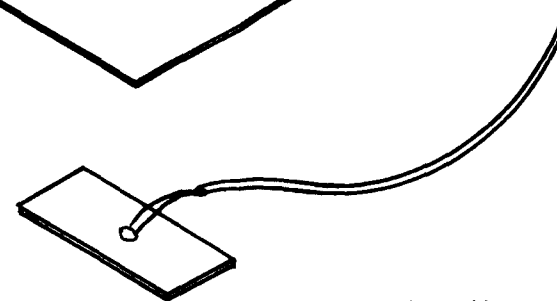
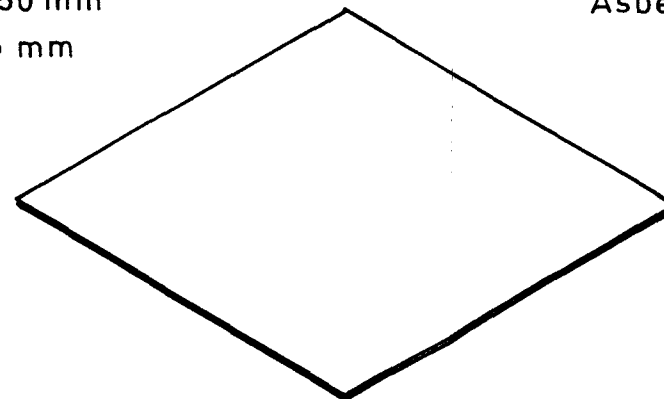


Meßstelle :
Thermodoppelleitung
Schweißperle
Hartlötung auf
Kupferplättchen 10x20 mm
d = 5 mm

2. Messung unter 0,2mm
Asbestabdeckung

Klebung mit Wasserglas

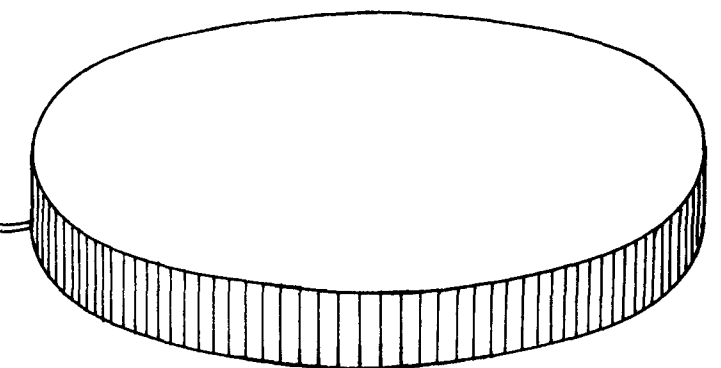
Asbestpapier 50x50 mm
d = 0,2 mm



Meßstellen :
wie unter 1

3. Messung ohne
Abdeckung

Stahlplatte \varnothing 90 mm
d = 10 mm

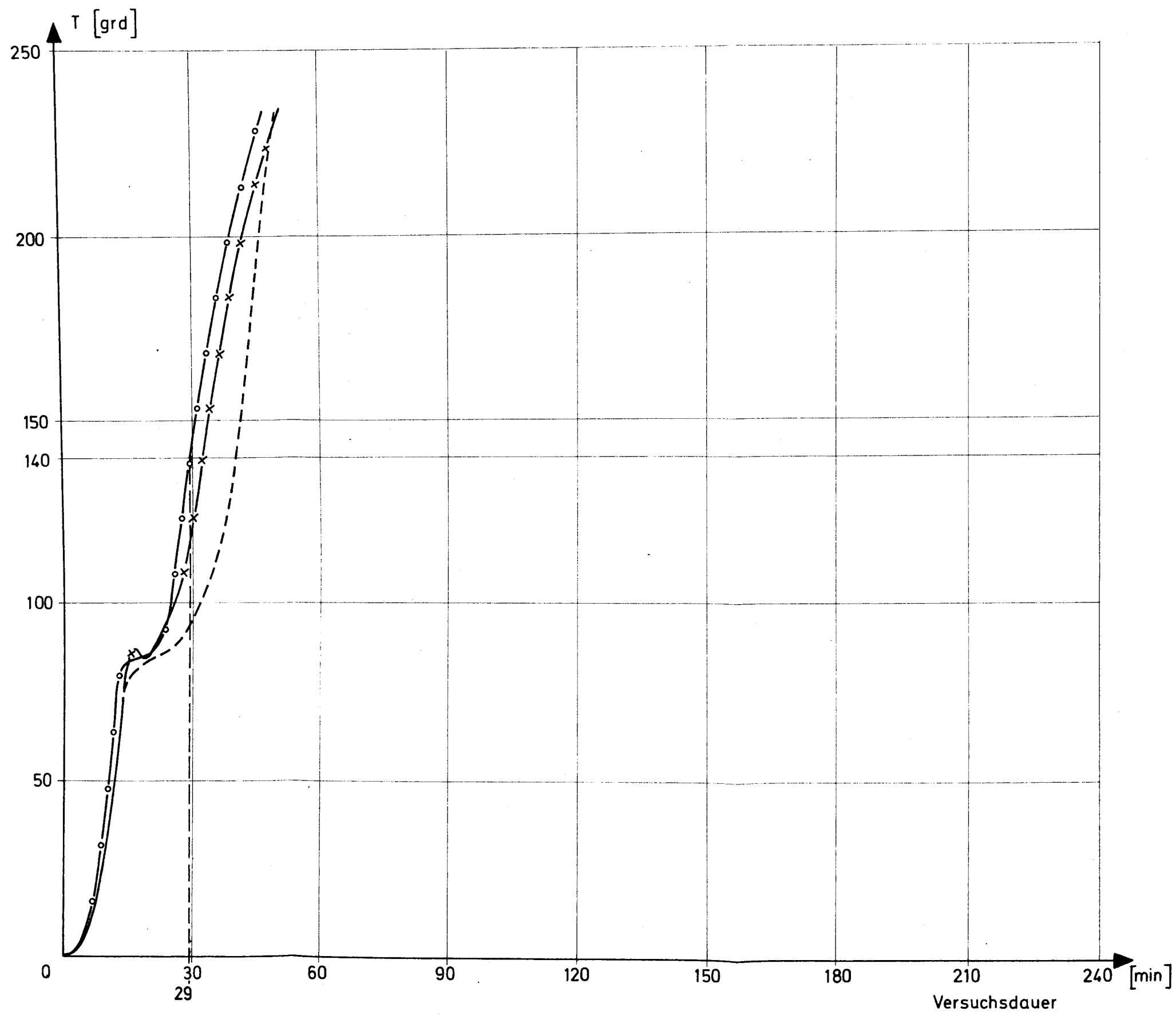


Meßverfahren für Oberflächentemperatur

Bestimmung der erforderlichen
Minimum - Plattendicke

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Universität Braunschweig
Anliegende Materialprüfanstalt für das Bauwesen

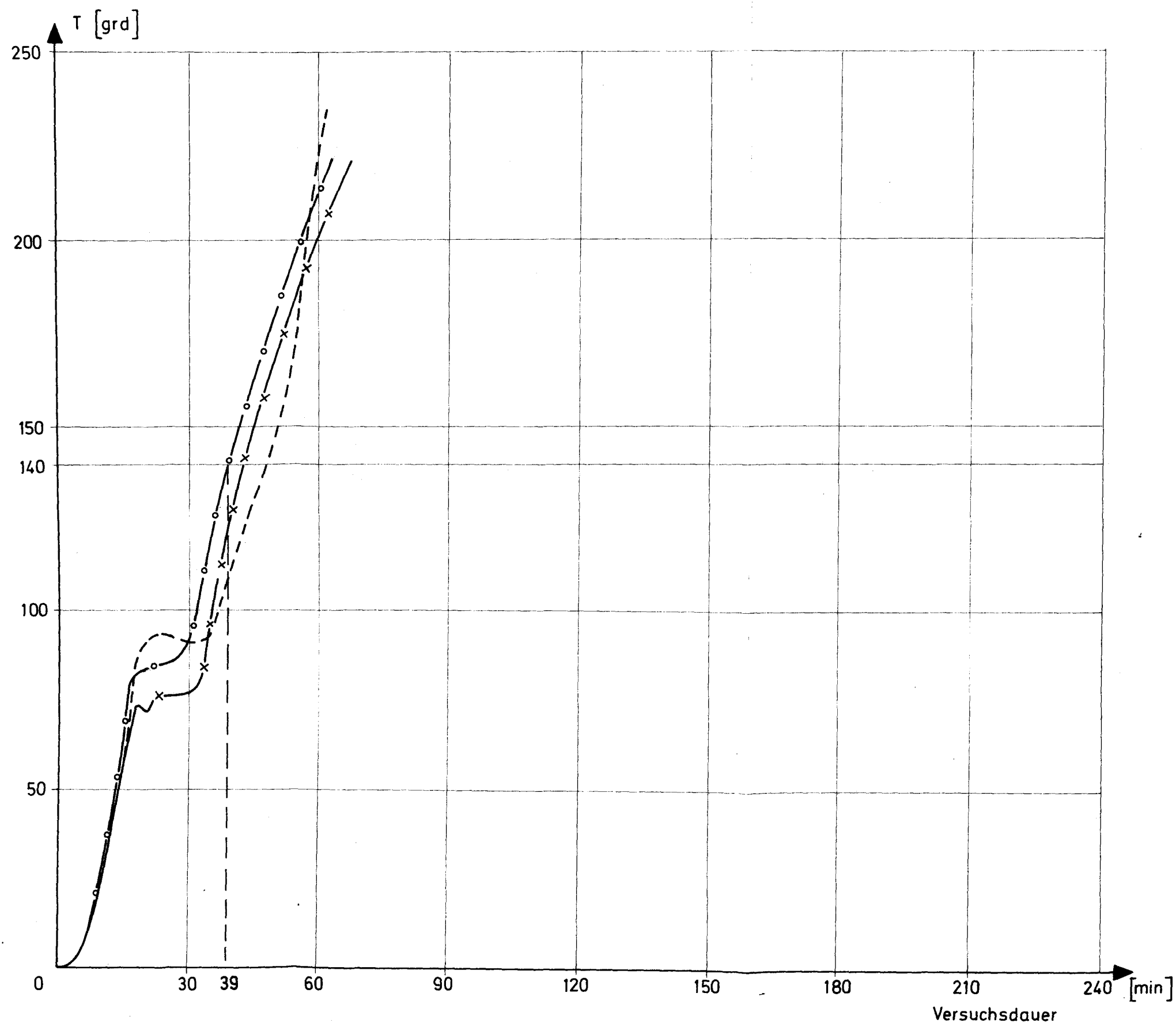
Anlage 2



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 2,25 Gew. %

--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 -o-o- " ② " " 0,2 " "
 -x-x- " ③ " ohne Abdeckung

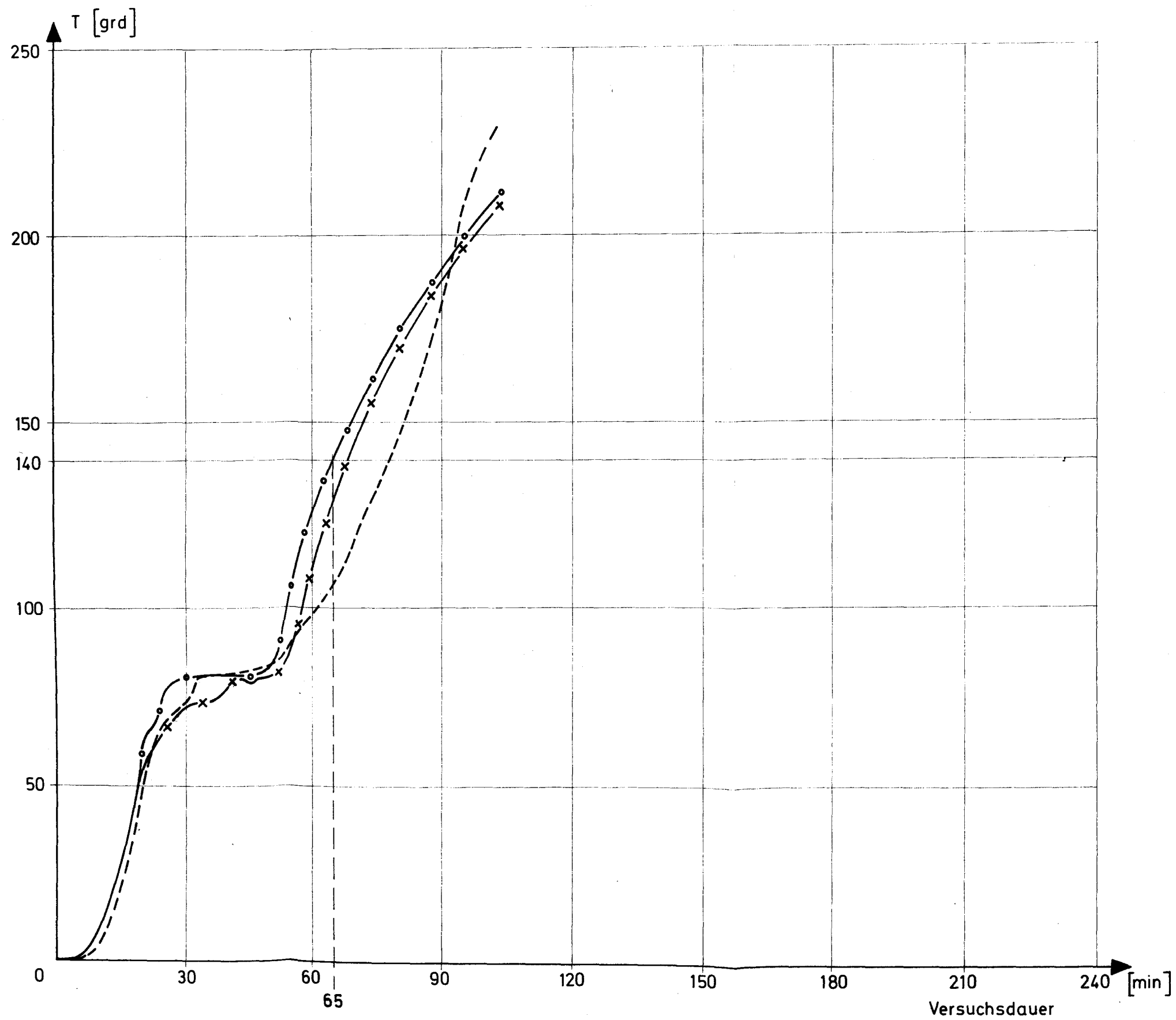
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 1
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d= 5 cm
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Öffentliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	Anlage 3.01



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen;
Feuchtigkeitsgehalt 2,75 Gew.%

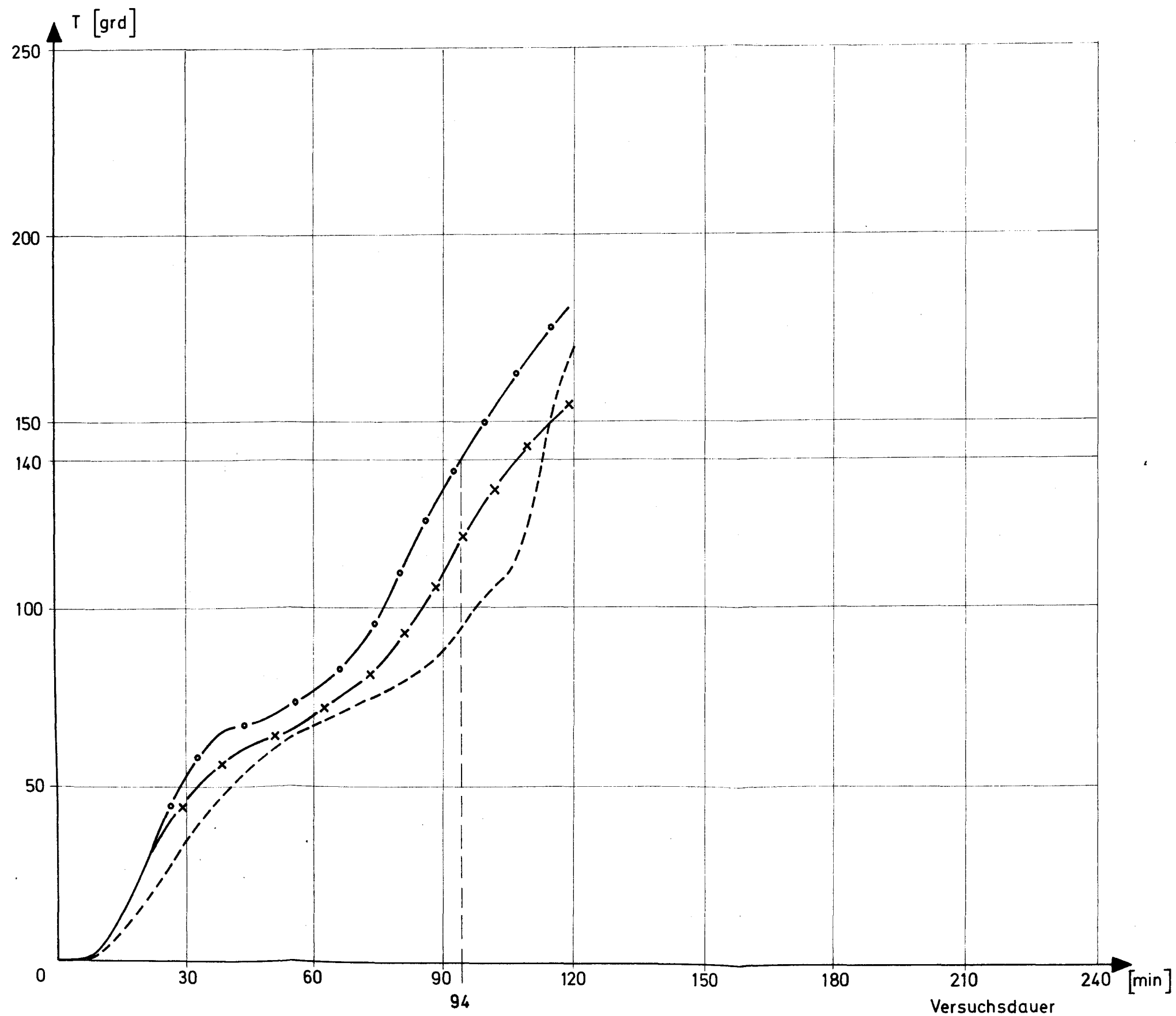
--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 -o-o- " ② " " 0,2 " "
 -x-x- " ③ " ohne Abdeckung

Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 2
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d = 6 cm
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	Anlage 3.02



--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 -o-o- " ② " " 0,2 " "
 -x-x- " ③ " ohne Abdeckung

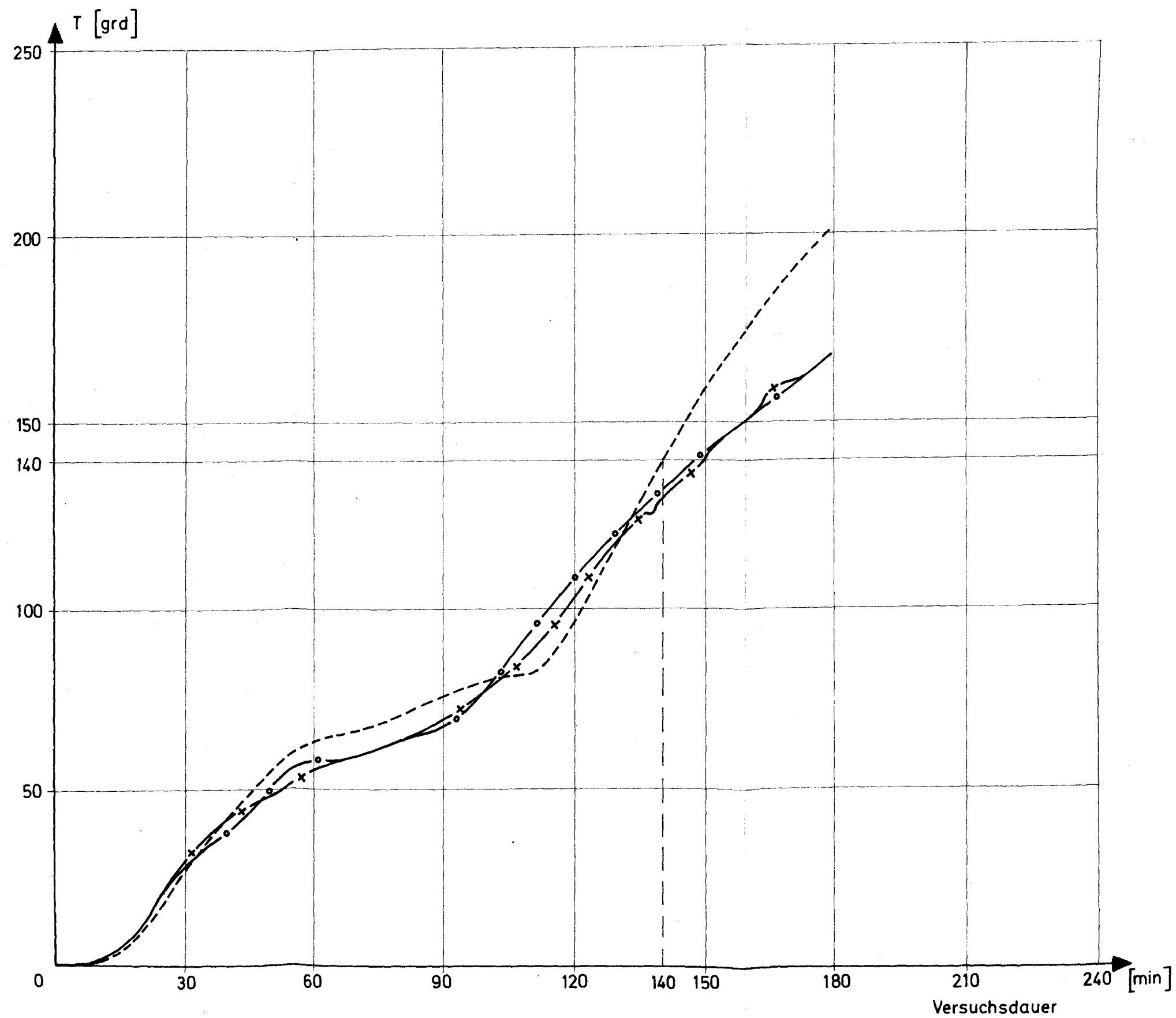
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 3
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d = 8 cm
	Anlage 3.03



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 3,25 Gew. %

— — — Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 —○—○ " ② " " 0,2 mm " "
 —x—x " ③ " ohne Abdeckung

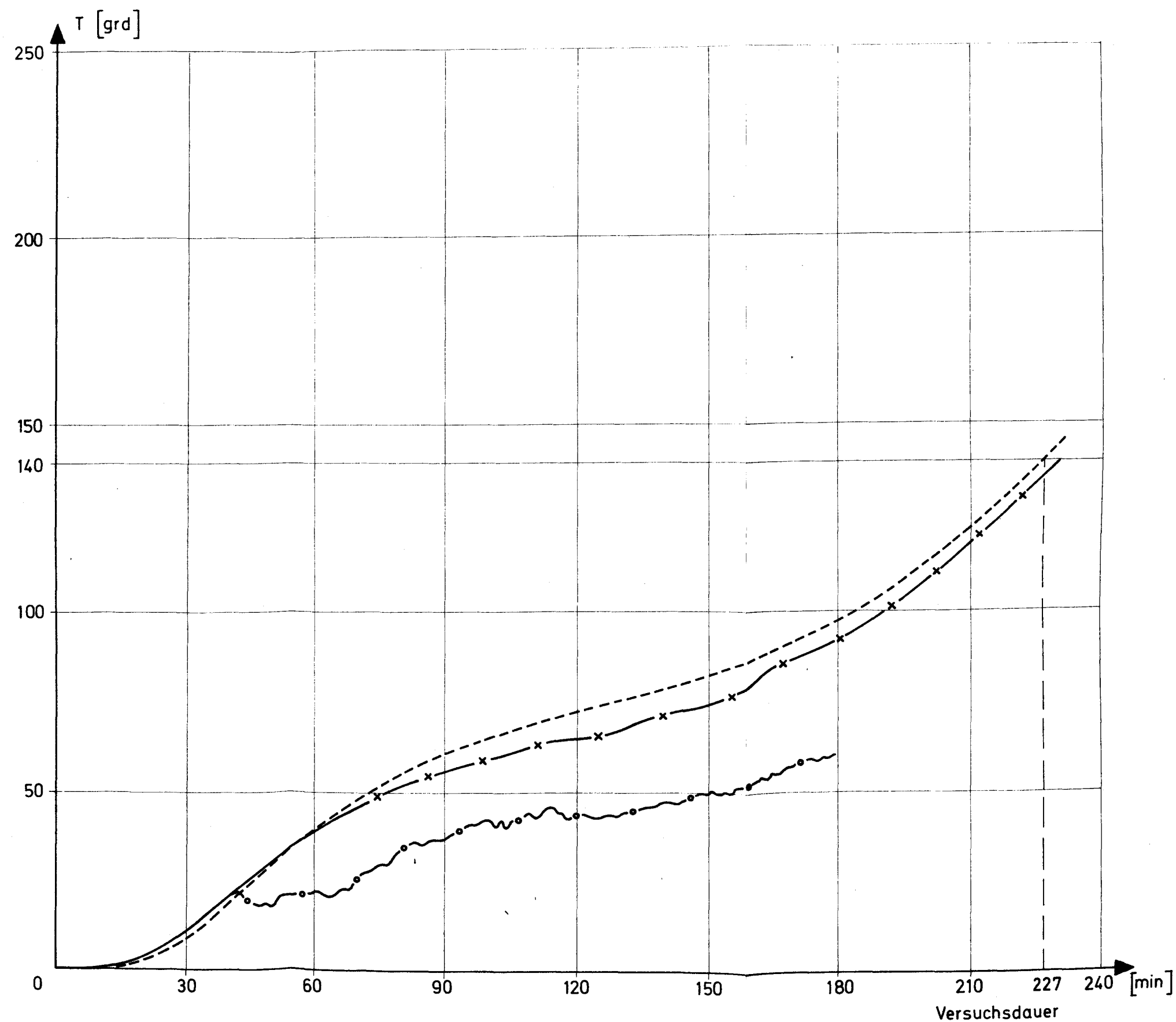
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 4
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	
	d = 10 cm
	Anlage 3.04



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 3,75 Gew.%

--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
-o-o- " ② " " 0,2 " "
-x-x- " ③ " ohne Abdeckung

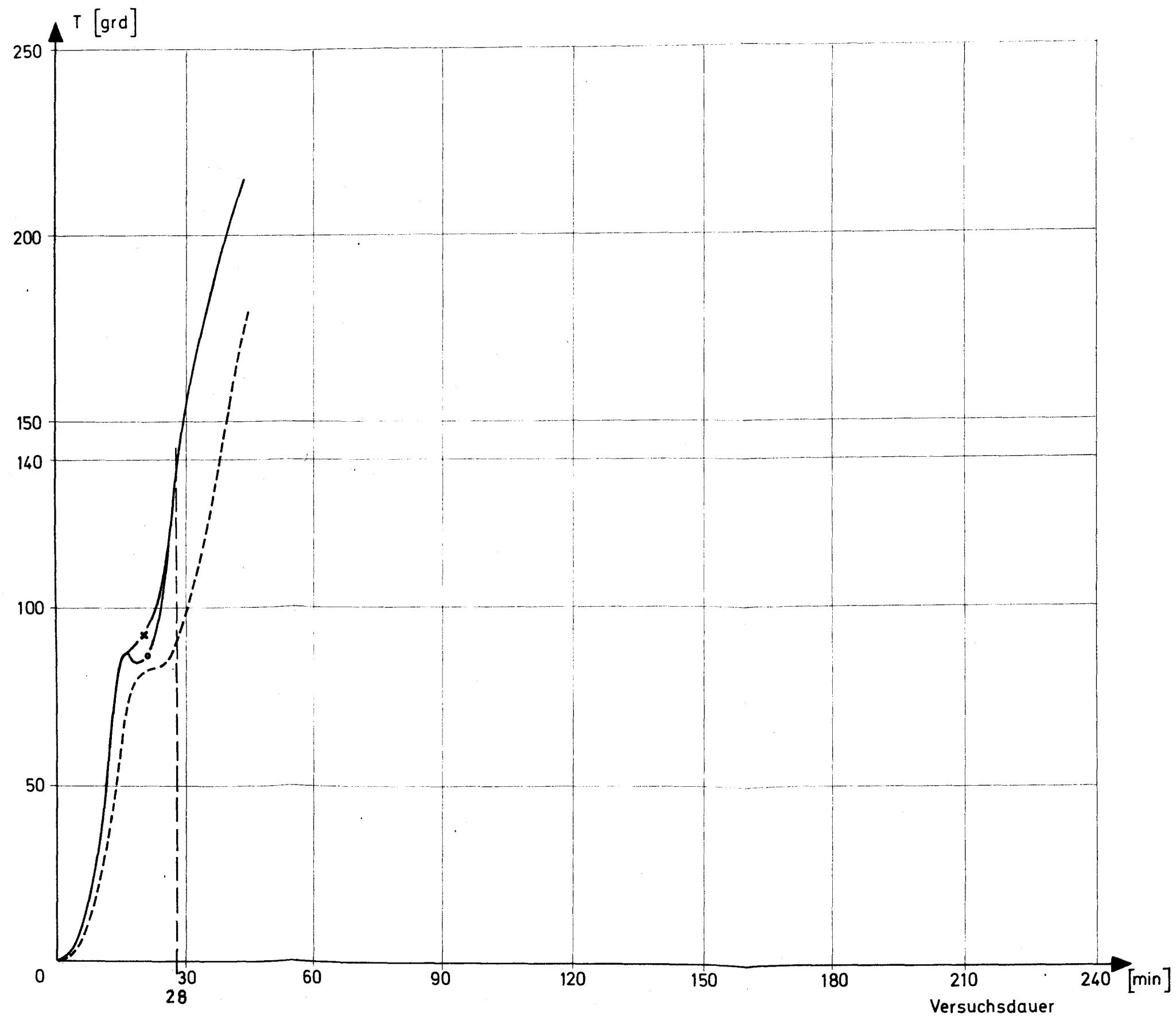
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 5
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d = 12 cm
	Anlage 3.05



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 4,50 Gew.%

--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 —○— ② " " 0,2 " "
 —x— ③ " " ohne Abdeckung

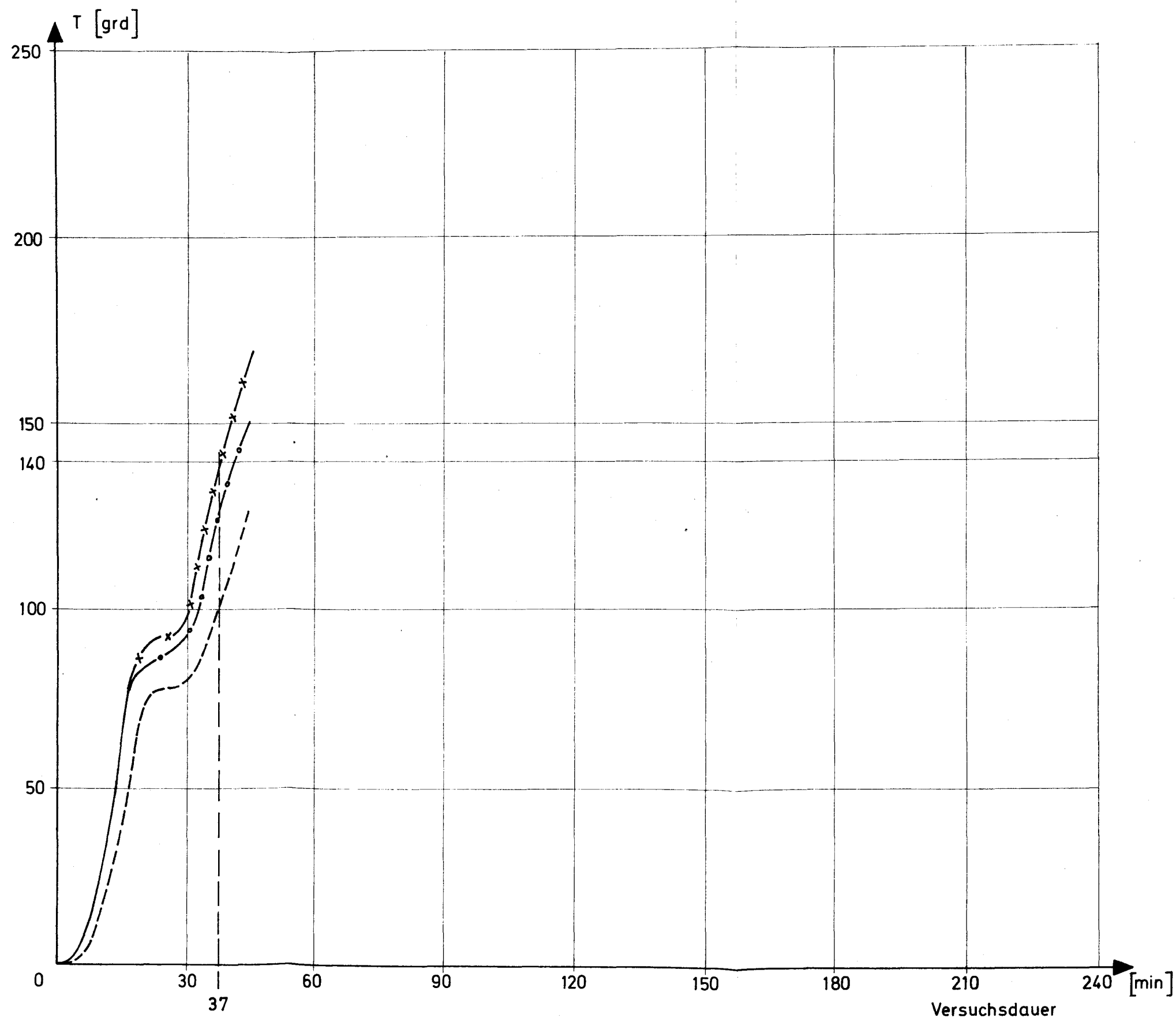
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 6
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	
	d = 16 cm
	Anlage 3.06



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 1,25 Gew.%

— — — Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
—○—○ " ② " " 0,2 " "
—x—x " ③ " ohne Abdeckung

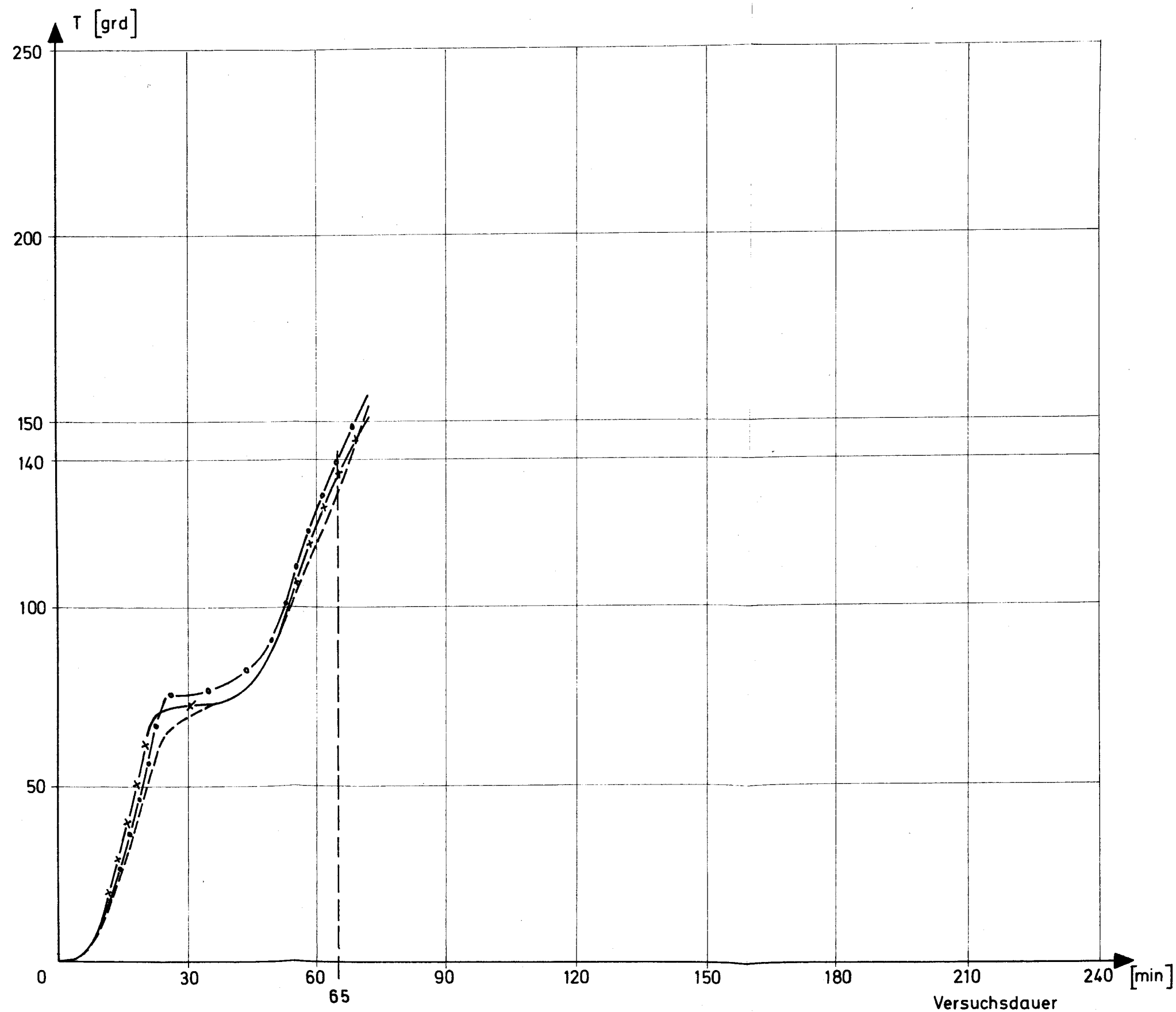
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 7
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	
	d = 5 cm
	Anlage 3.07



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen;
Feuchtigkeitsgehalt 1,50 Gew.%

--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 -o-o- " ② " " 0,2 " "
 -x-x- " ③ " ohne Abdeckung

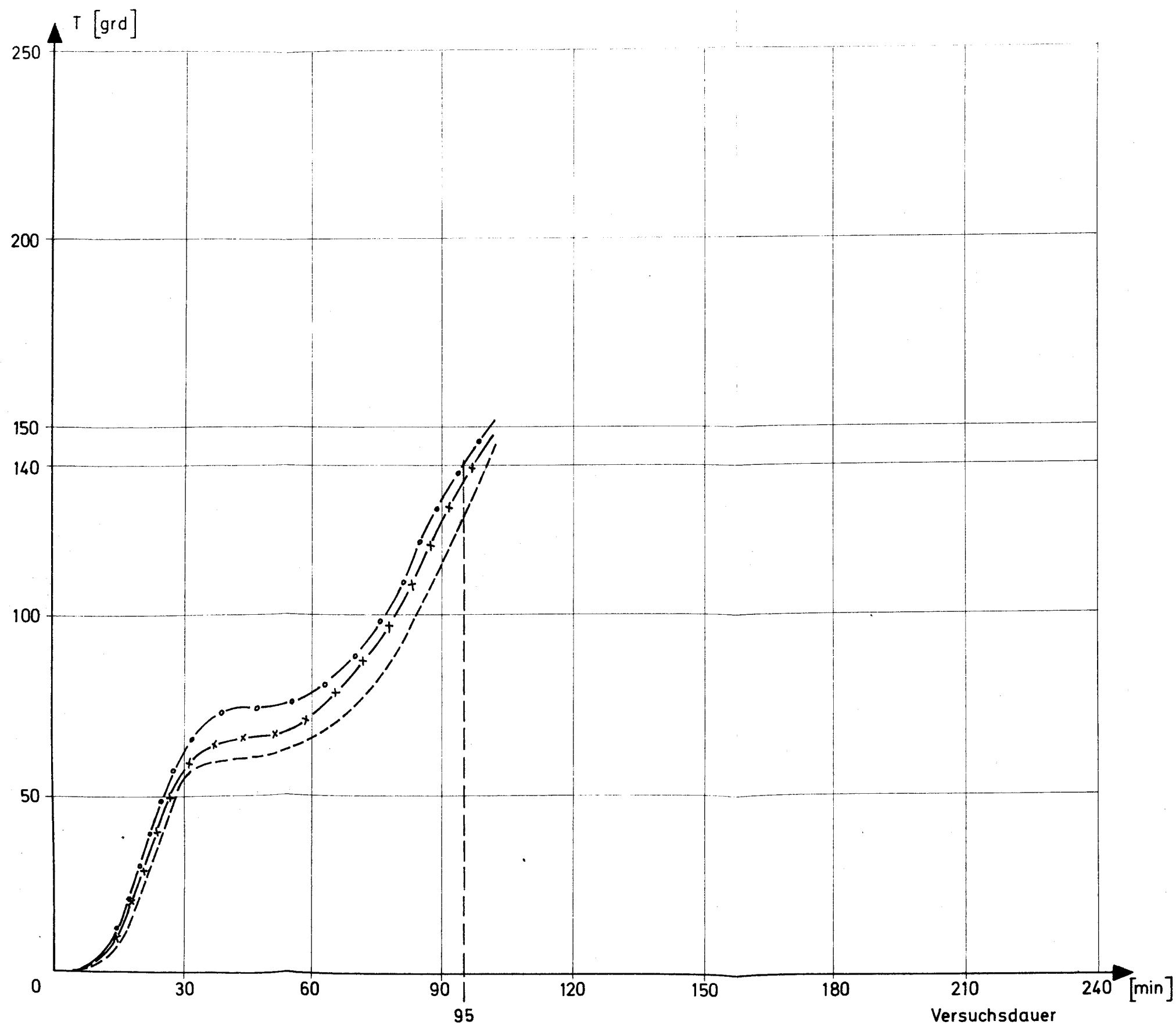
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 8
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Ämtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	Anlage 3.08



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 2,00 Gew.%

--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 -o-o- " ② " " 0,2 " "
 -x-x- " ③ " ohne Abdeckung

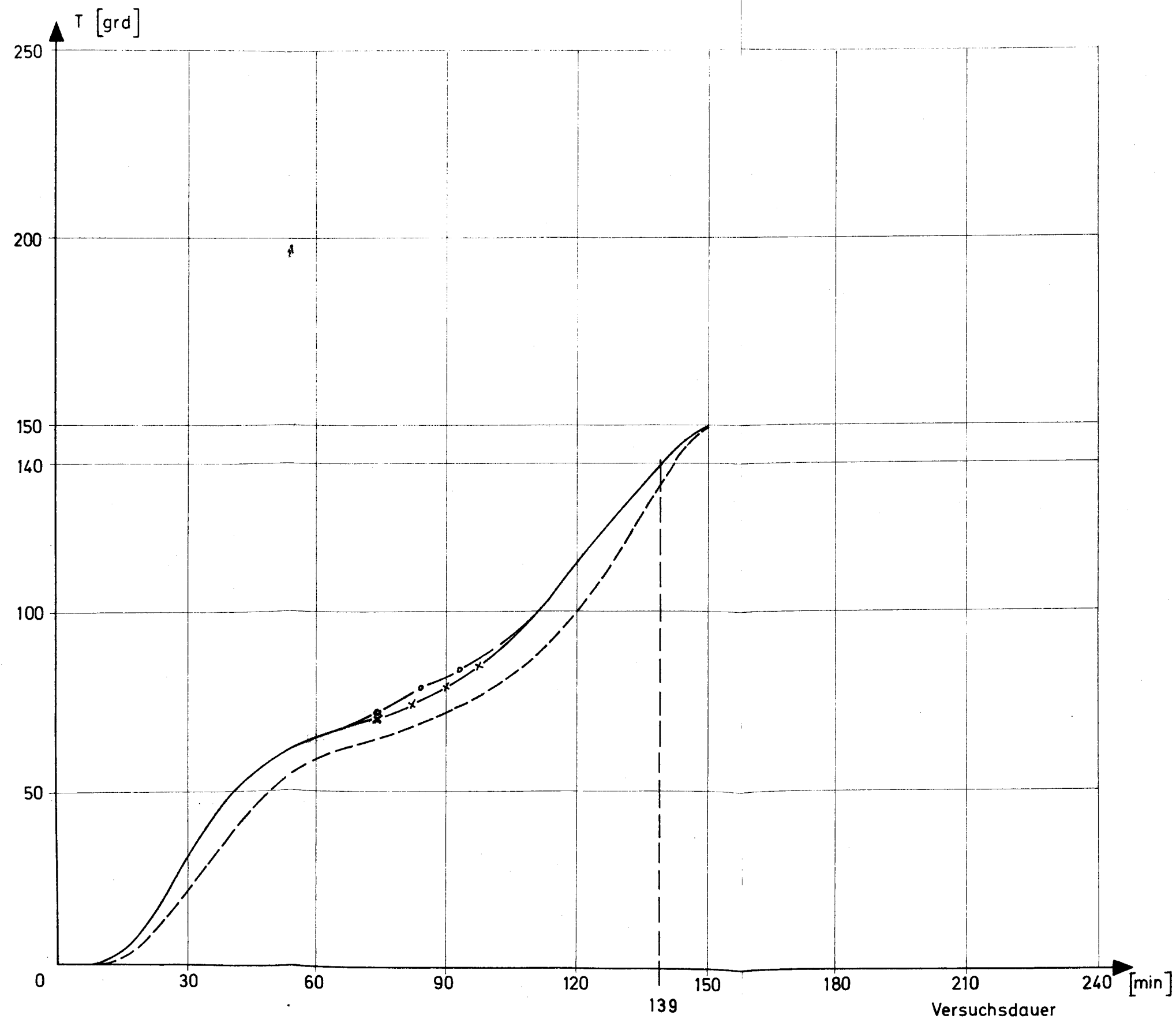
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 9
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d = 8 cm
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	Anlage 3.09



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 2,25 Gew.%

— — — Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 —○—○ " ② " " 0,2 " "
 —x—x " ③ " ohne Abdeckung

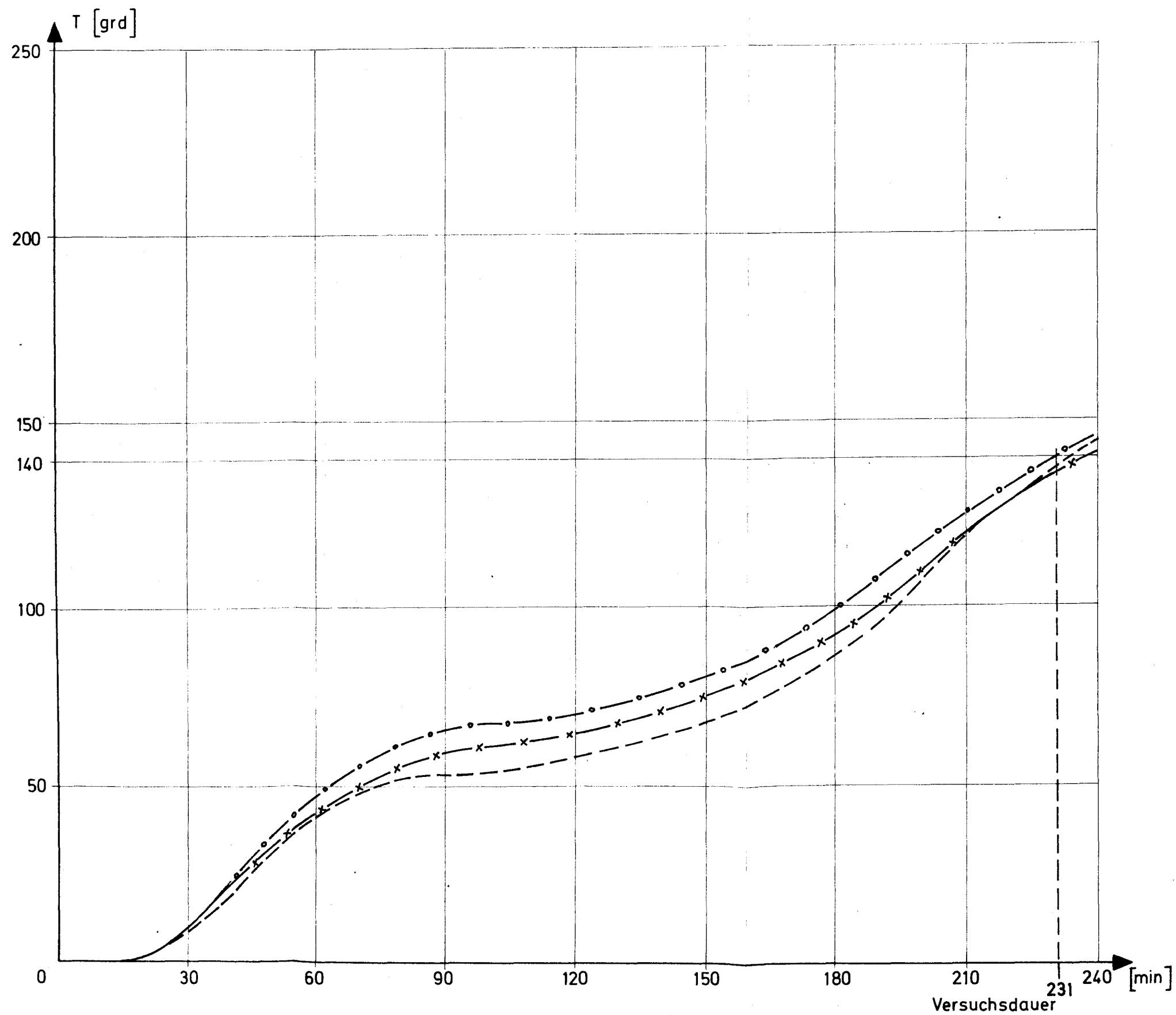
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 10
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	
	d = 10 cm
	Anlage 3.10



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 3,00 Gew.%

--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 -o-o " ② " " 0,2 " "
 -x-x " ③ " ohne Abdeckung

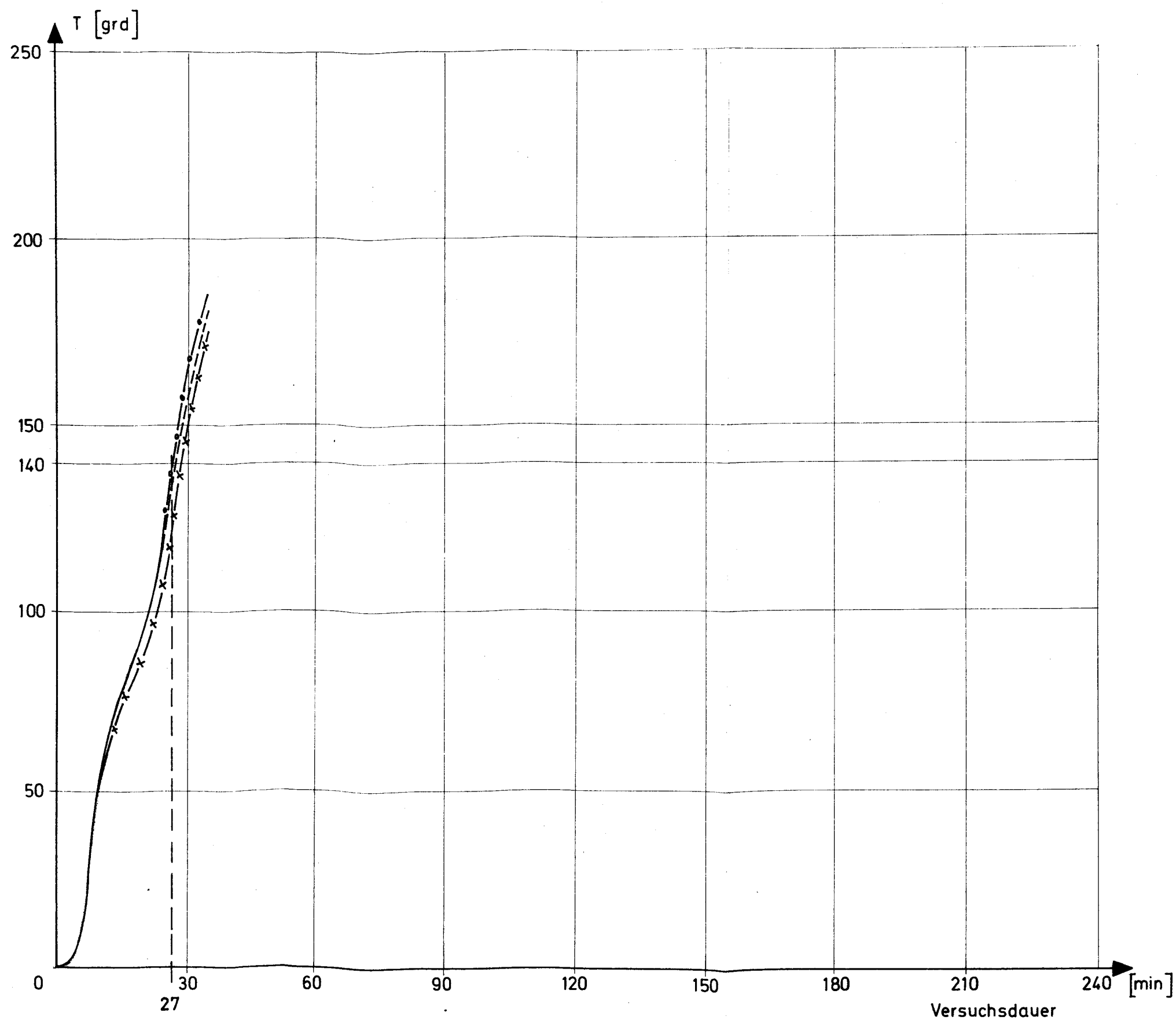
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 11
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d = 12 cm
	Anlage 3.11



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen;
Feuchtigkeitsgehalt 3,25 Gew.%

— — — Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
—○—○ " ② " " 0,2 " "
—x—x " ③ " ohne Abdeckung

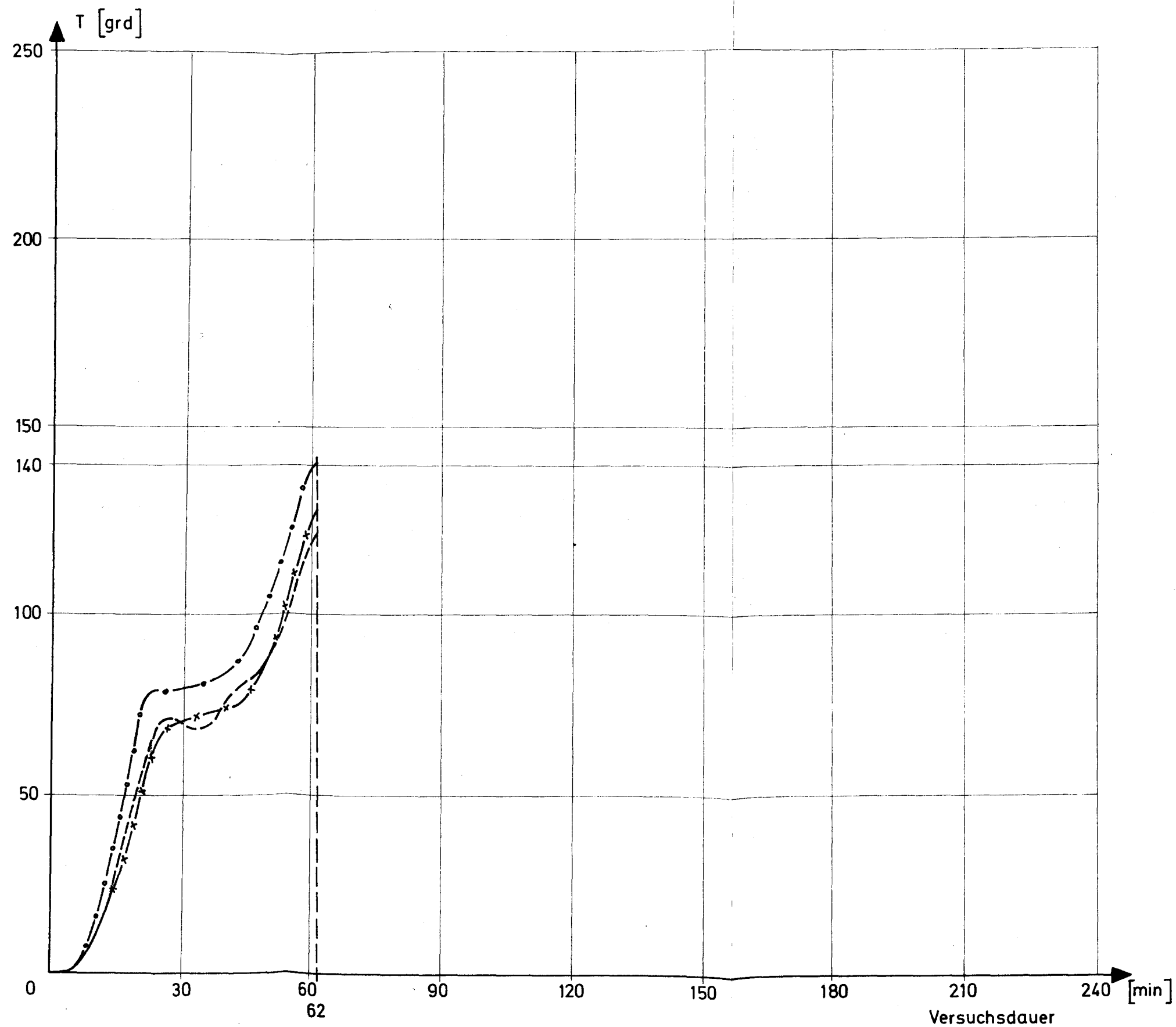
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 12
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d = 16 cm
	Anlage 3.12



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 2,00 Gew. %

--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 -o-o- " ② " " 0,2 " "
 -x-x- " ③ " ohne Abdeckung

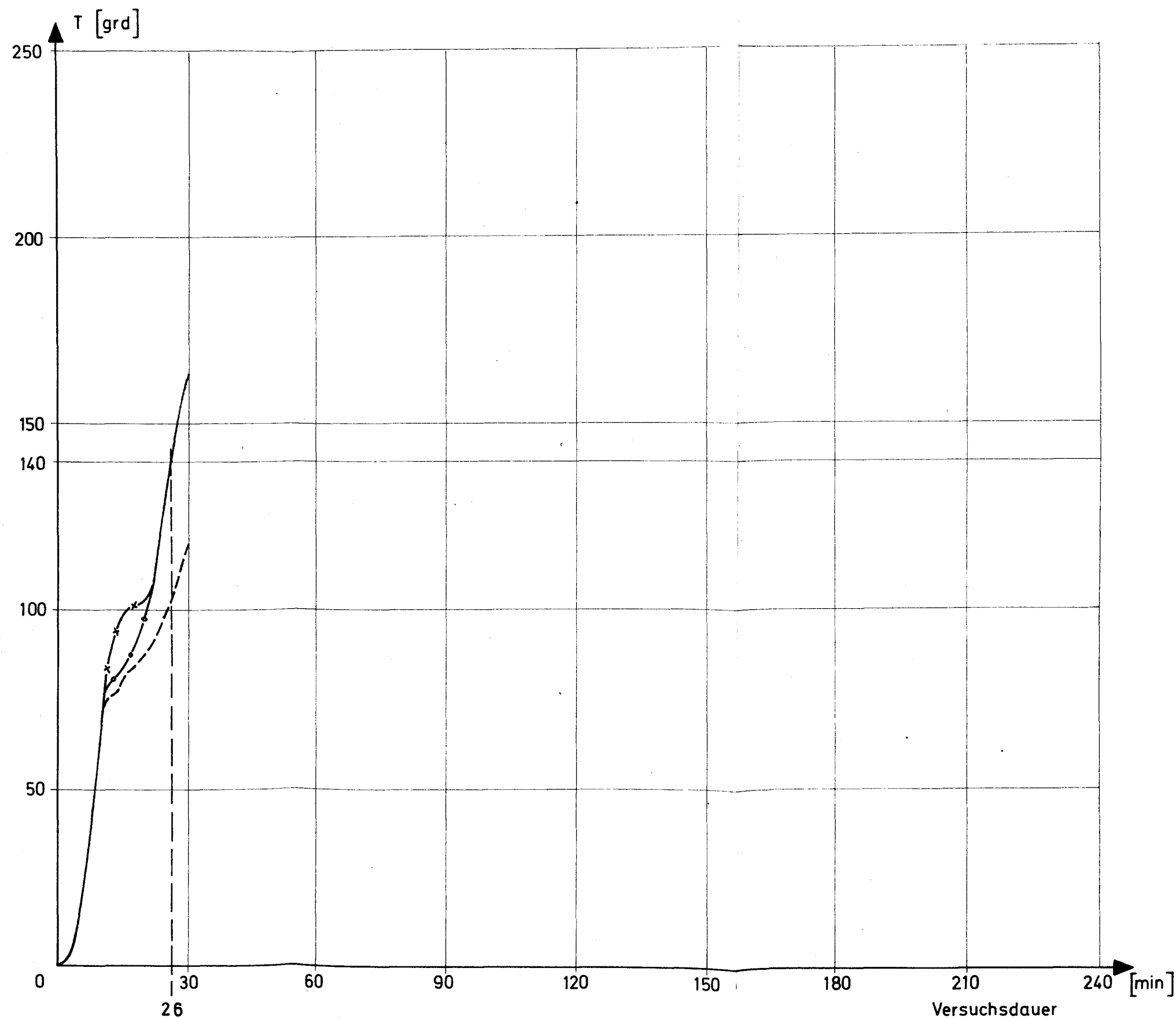
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 13
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d = 5 cm
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfstelle für das Bauwesen	Anlage 3.13



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 3,50 Gew. %

--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 -o-o- " ② " " 0,2 mm " "
 -x-x- " ③ " ohne Abdeckung

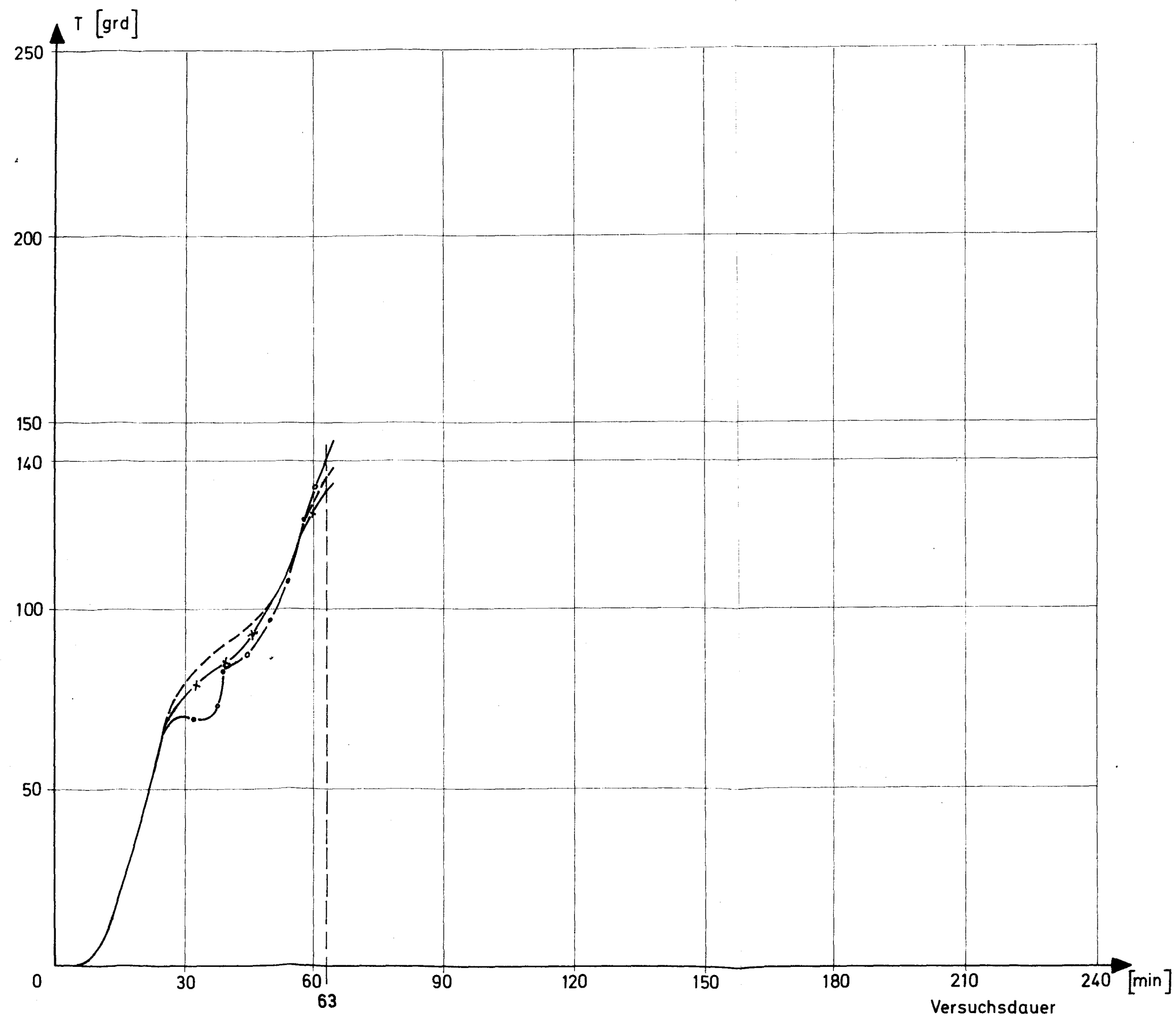
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 14
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d = 8 cm
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Anlieger Materialprüfanstalt für das Bauwesen	Anlage 3.14



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 3,25 Gew. %

— — — Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
— o — o " ② " " 0,2 " "
— x — x " ③ " ohne Abdeckung

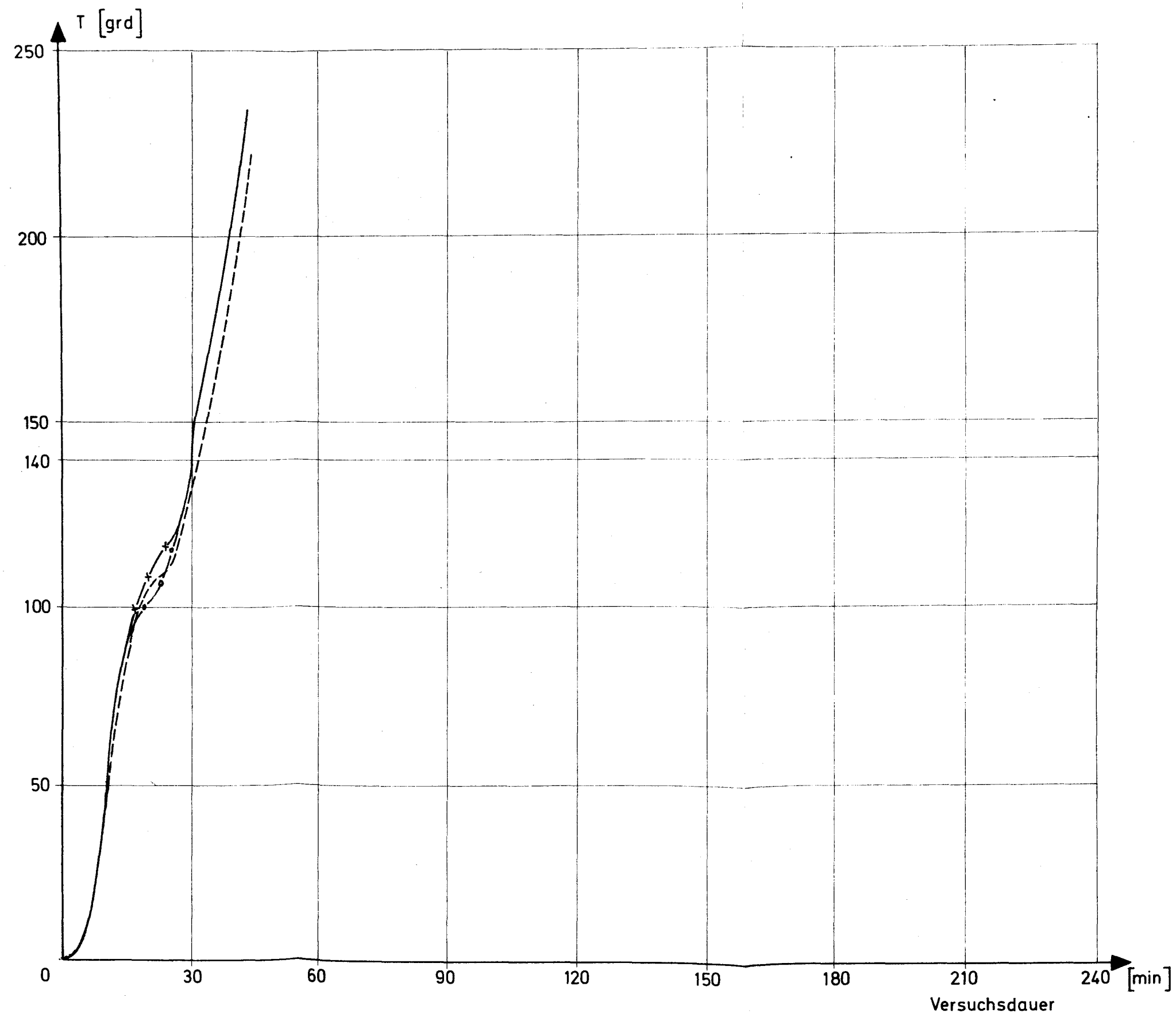
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 15
Bestimmung der erforderlichen Minimum - Plattendicke	d = 5 cm
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	Anlage 3.15



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen;
Feuchtigkeitsgehalt 3,00 Gew.%

— — — Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 —○—○— " ② " " 0,2 " "
 —x—x— " ③ " ohne Abdeckung

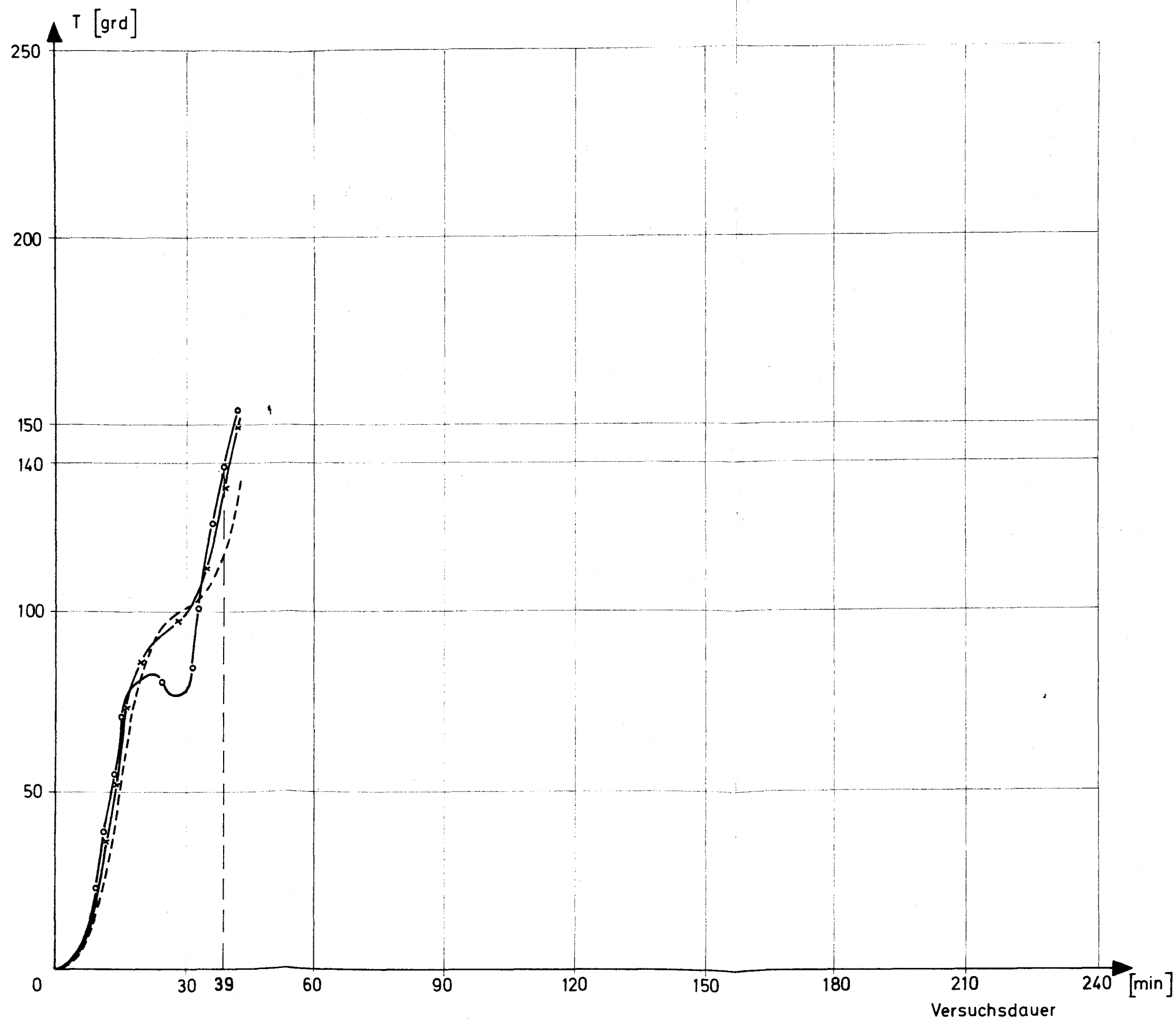
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper-Nr. 16
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d = 8 cm
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	Anlage 3.16



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen;
Feuchtigkeitsgehalt 2,00 Gew.%

— — — Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
— o — o " ② " " 0,2 " "
— x — x " ③ " ohne Abdeckung

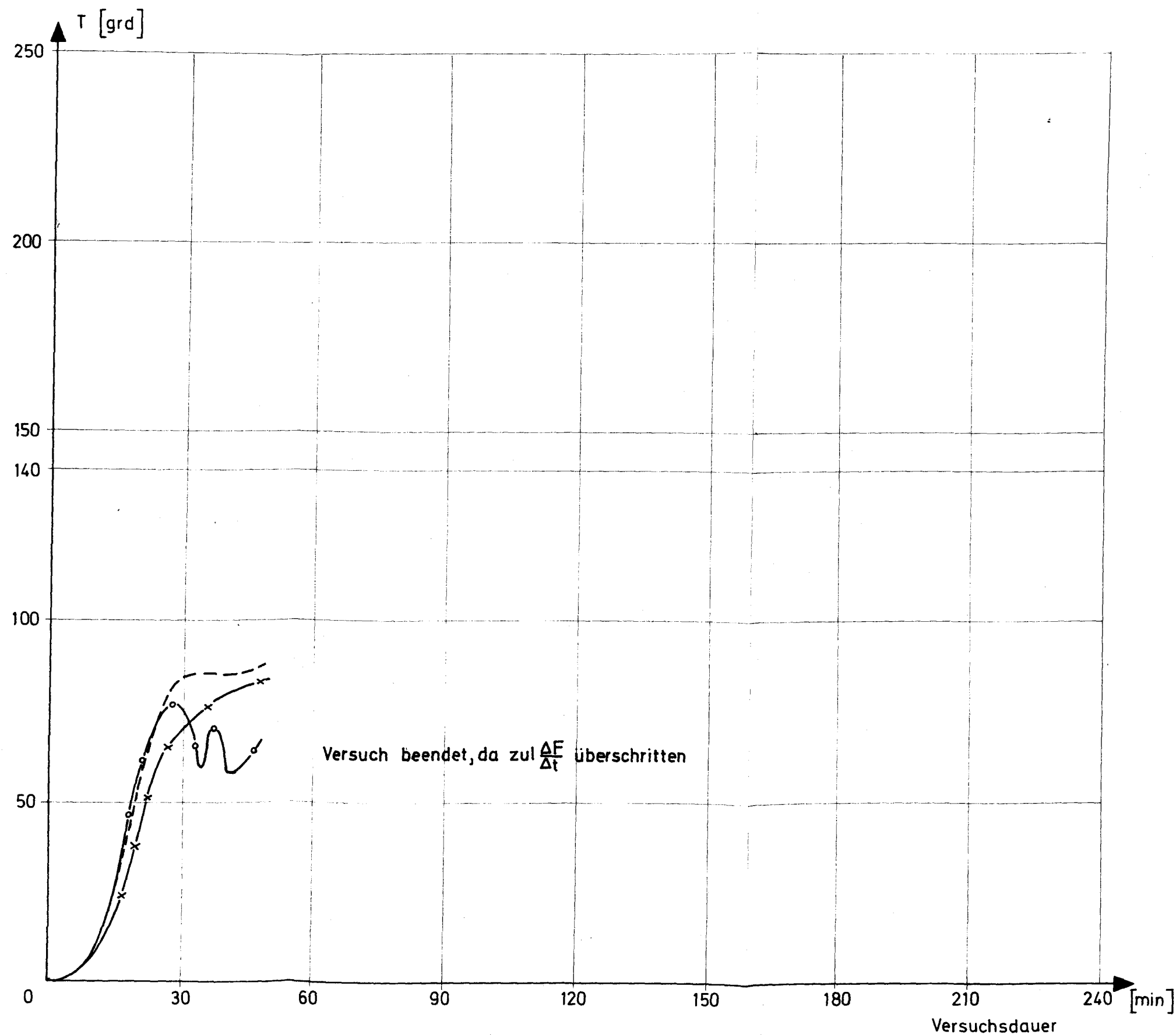
Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 17
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d = 5 cm
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	Anlage 3.17



Beton mit quarzitischen
Zuschlagsstoffen ;
Feuchtigkeitsgehalt 2,75 Gew. %

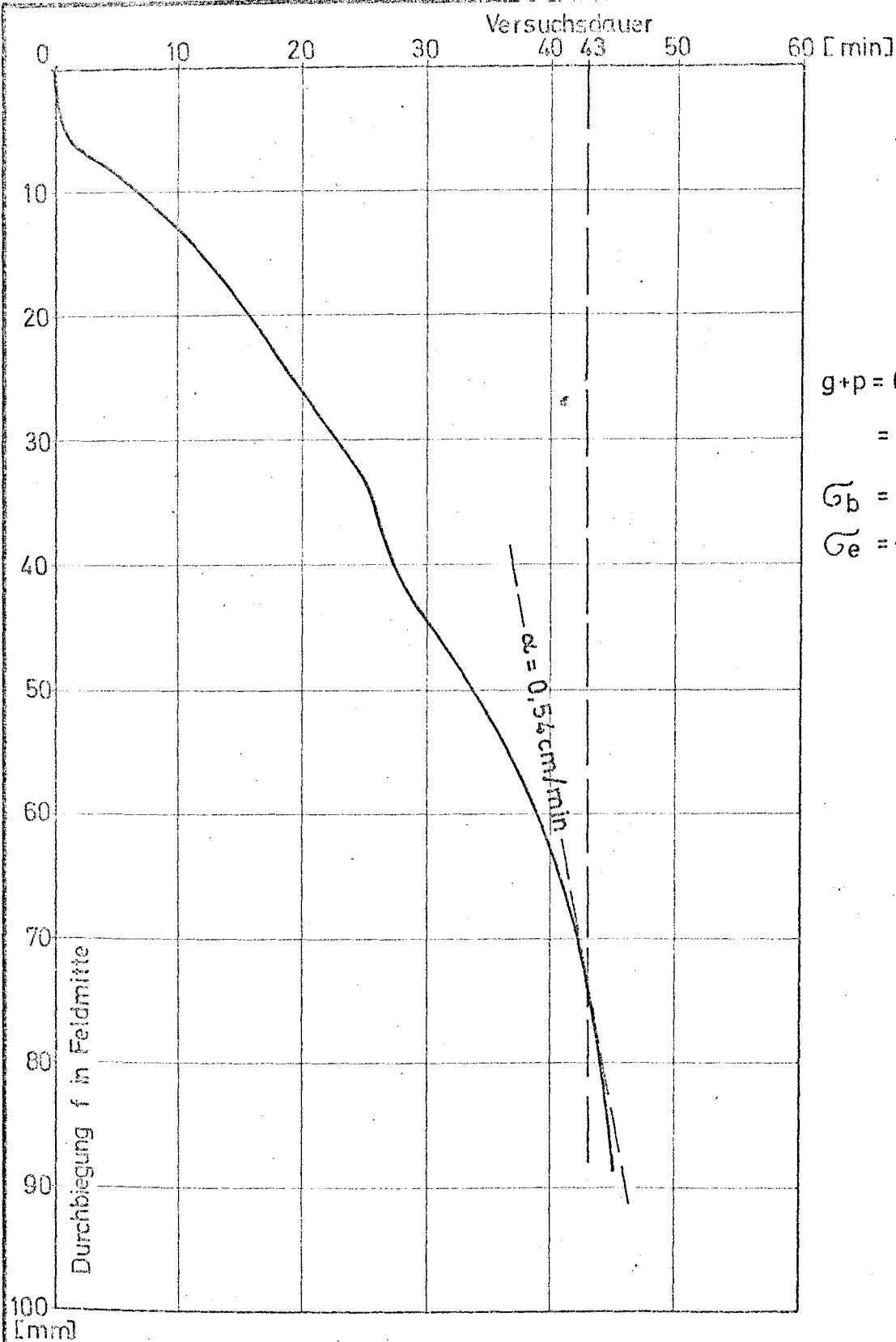
--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 -○- " ② " " 0,2 " "
 -x- " ③ " ohne Abdeckung

Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 18
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	d = 6 cm
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	Anlage 3.18



--- Meßstelle ① gemessen unter 5 mm Asbestabdeckung
 -o-o- " ② " " 0,2 " "
 -x-x- " ③ " ohne Abdeckung

Temperatur auf der Plattenoberseite	Versuchskörper - Nr. 19
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke	
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfstelle für das Bauwesen	Anlage 3.19



$$g+p = 0,13 + 0,25 \\ = 0,38 \text{ kp/m}^2$$

$$\sigma_b = -60 \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_e = +2800 \text{ kp/cm}^2$$

$$\alpha = z_{ul} \frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{l^2}{9000 h} = \frac{130^2}{9000 \cdot 3,5} = 0,54 \text{ cm/min}$$

Feuchtigkeitsgehalt
2,00 Gew.%

Durchbiegung f in Feldmitte

Versuchskörper Nr.17
d = 5 cm

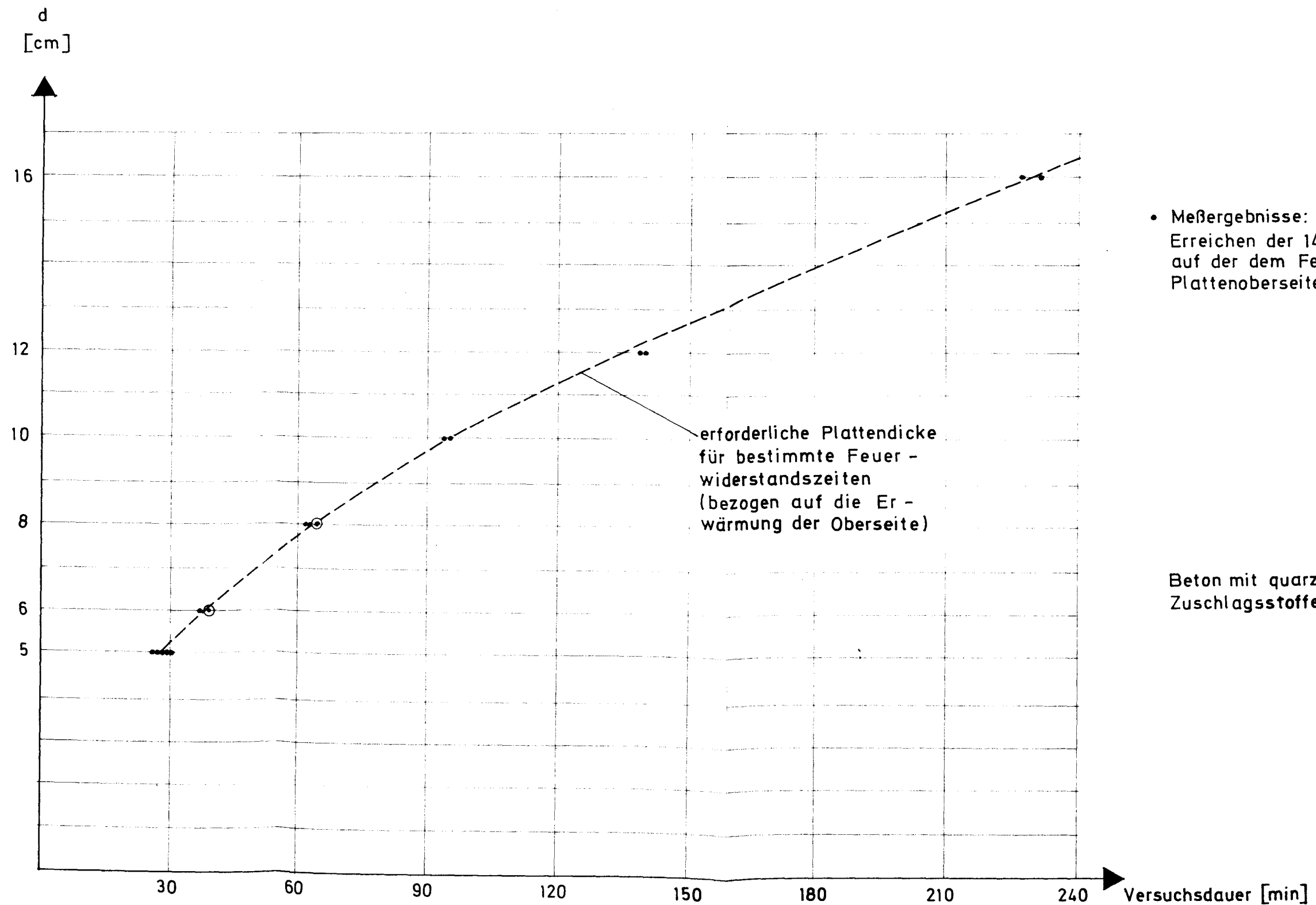
Bestimmung der erforderlichen Minimum-Plattendicke

Anlage 4.01

Gem. 10. Baustoffkunde und Statik

Prof. Dr. habil. Dr. rer. oec. Dr. rer. tech. Dr. rer. oec. Dr. rer. tech.

Lehrstuhl für Baustoffkunde und Statik



Feuerwiderstandszeit der
untersuchten Platten

Bestimmung der erforderlichen
Minimum - Plattendicke

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau

Technische Universität Braunschweig

Ämtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 5